

3.2.2 Estudio de las partes y componentes

I. Análisis de las estructuras externas

✚ SISTEMA DE CONEXIÓN MÚLTIPLE

La farola se compone de una base cónica de diámetro base 500 mm y de 1100 mm de altura, que se une a una columna de diámetro exterior 175 mm, con un espesor de 37,5mm y de unos 5 metros de altura con terminación en forma de brazo de 1,5 metros. Tanto la longitud del brazo como la altura de la farola pueden variar para adaptar el diseño a los requerimientos del cliente.

Ese diseño simple está ideado para formar parte de un conjunto de farolas (cuyo número viene determinado según la necesidad luminosa de la zona a alumbrar) unidas a una estructura central apilable. En el centro de la rotonda se sitúa esa estructura apilable, formada por un conjunto de bloques triangulares que sustentan la placa solar. Según las necesidades de la rotonda se determina la superficie de placa solar a usar, pudiendo variar también la altura de la estructura central aumentando o disminuyendo el número de bloques para mejorar la situación de la placa.



Figura 79. Farola suelta de la conexión grupal

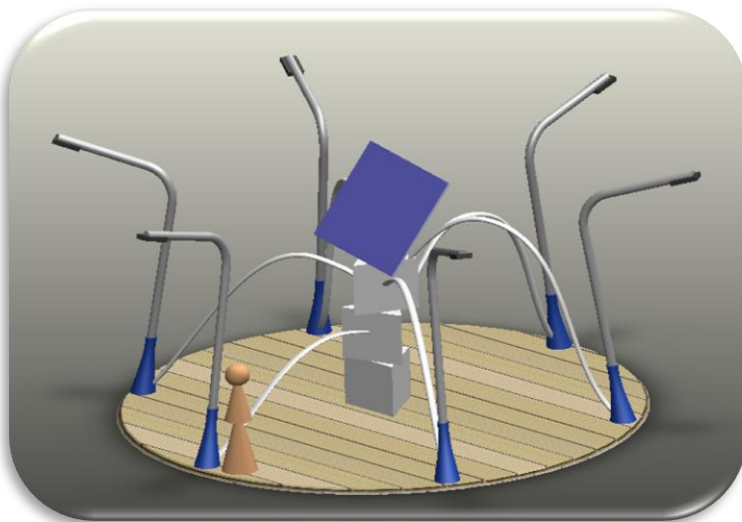


Figura 80. Conjunto formado por 6 farolas simples unidas a la estructura central

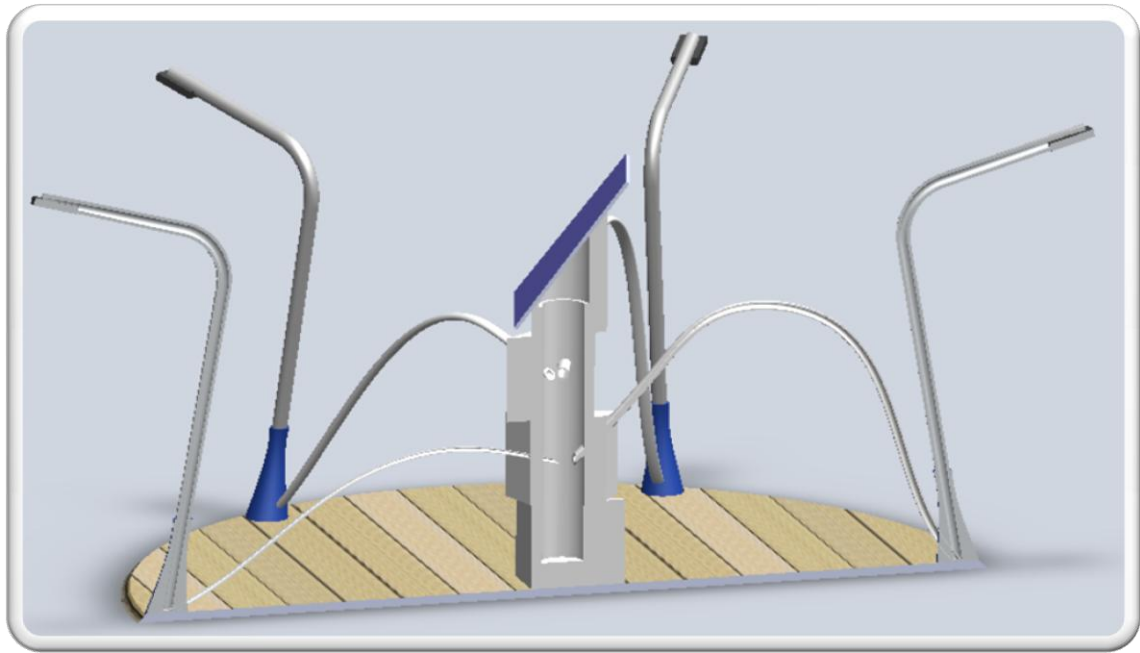


Figura 81. Vista de sección de la conexión grupal

Como se observa en el corte de sección de la Figura 3 los bloques centrales tienen un cilindro vacío en el centro de 0,5 metros de diámetro, de manera que puede situarse en el interior tanto el cableado de todo el sistema de farolas como las baterías y componentes, según el volumen que se necesite y las dimensiones de la rotonda la cavidad interior puede construirse de mayor o menor tamaño.

Las imágenes siguientes corresponden a los bloques que conforman la parte central y entre otras funciones, sujetan la placa solar.

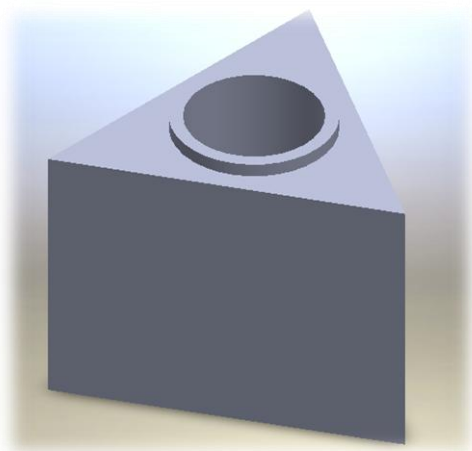


Figura 82. Bloque de la estructura central

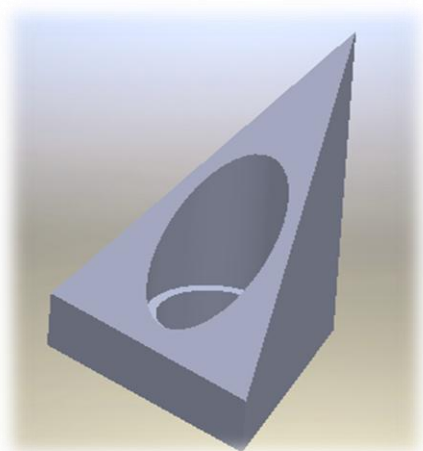


Figura 83. Bloque superior de la estructura central

Como ya se ha comentado anteriormente, la altura de la estructura central es variable, es un sistema formado por un conjunto de bloques apilados, de un metro de altura cada uno, por tanto variando el número de ellos varia la altura de la estructura. En la parte superior se sitúa un bloque con una de sus caras inclinadas que permite situar la placa solar a la inclinación adecuada.

FAROLA INDIVIDUAL AUTOSUFICIENTE

Partiendo de ese mismo diseño de farola simple se obtiene una farola autosuficiente, situando en la parte superior un panel solar; éste está sujeto a una articulación que permite adaptarlo inicialmente a la posición más adecuada para el mayor aprovechamiento lumínico según la zona donde se sitúa.

Las dimensiones de la farola autosuficiente no difieren de las de la farola simple, pues se ha realizado primeramente el dimensionado de la sección de la columna y del espesor necesario

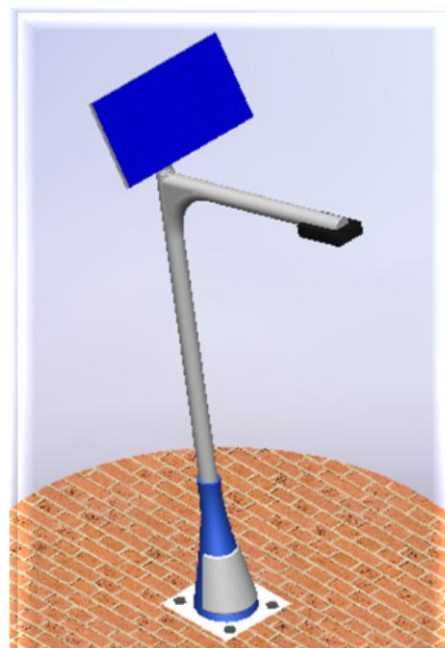


Figura 84. Farola individual

teniendo en cuenta las cargas de la placa solar que debe soportar la estructura, y ese valor obtenido (175mm de diámetro con un espesor de 37,5mm) ha sido el utilizado también en la farola simple sin panel solar, con el fin de realizar diseños semejantes.

El brazo de la farola también cuenta con las mismas dimensiones que en el caso simple.

Este sistema articulado permite girar la placa solar 360° y variar la inclinación 180°. Una vez situada la placa en la dirección más óptima (deberá estar situada a 55° con orientación al sur en BCN) se bloquea el sistema de anclaje de manera que la posición queda fijada.

Las imágenes siguientes muestran dos ejemplos de las posibles posiciones de la placa solar, una opuesta a la otra.

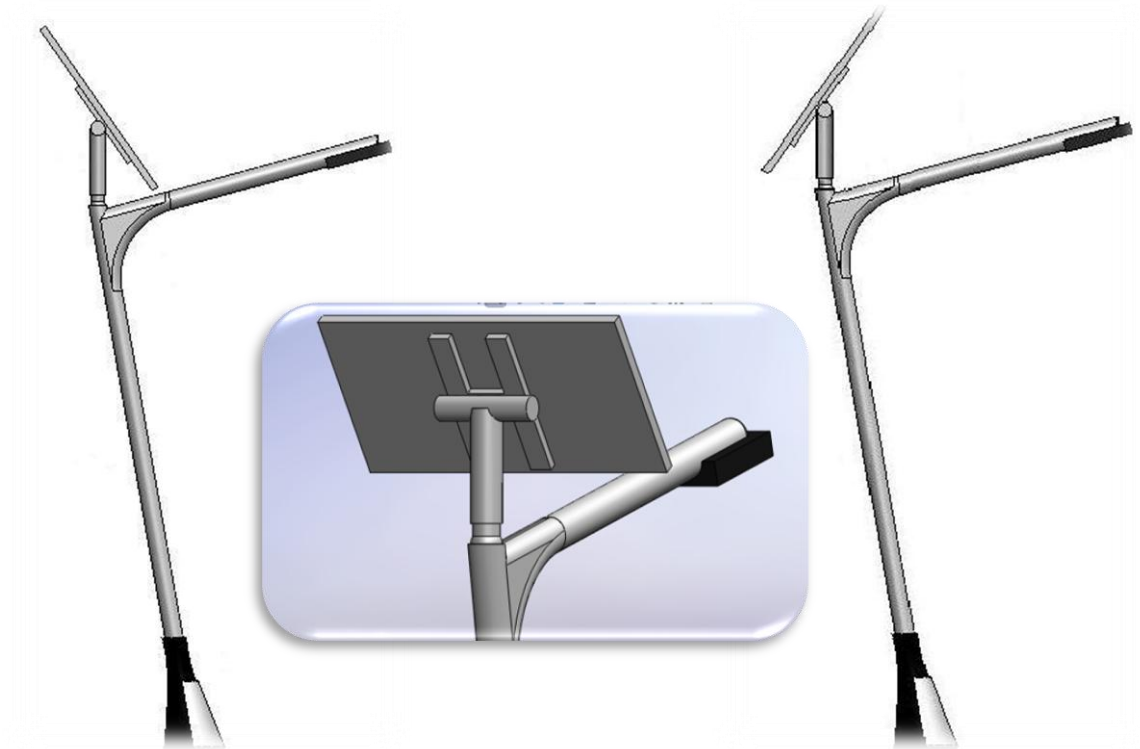


Figura 85. Farola con diferentes orientaciones de los paneles y detalle de la idea para el anclaje entre el panel y el báculo

Para asegurar un nivel lumínico correcto, si se requiere aumentar la altura de la farola (existiendo la posibilidad de tener que aumentar también la sección de la columna), será necesario aumentar el número de LEDs de la luminaria, así como el tamaño de la placa solar, pues un mayor número de LEDs demanda una mayor cantidad de energía; otra posibilidad sería usar una lámpara capaz de dar más luxes.

En el siguiente apartado se explica cómo es la luminaria escogida del mercado para realizar el proyecto y se propone una nueva más eficiente, que no está en el mercado, para comparar las actuales con las futuras.

II. Luminarias

LUMINARIA CONVENCIONAL

Para el alumbrado público de rotondas, la normativa sobre alumbrado exterior especifica una intensidad luminosa media como mínimo de 30 lux en el plano más bajo, para ese fin se ha elegido la luminaria LU2 suministrada por la empresa Onda Radio S.A. que es



Figura 86. Luminaria LU2

capaz de proporcionar una media de 36 lux a una altura de 5 metros del suelo. La potencia requerida por la luminaria es de 56W en LED. Tiene un diseño robusto, resistente al choque y a las vibraciones.

La tecnología LED aplicada en estas luminarias permite un ahorro energético de entre un 50% y un 80% en comparación con las lámparas convencionales de sodio y de mercurio, además de un mayor aprovechamiento de la luz como se puede ver en la figura 87. También se ha de tener en cuenta que al no contener ninguno de esos dos materiales, la contaminación ambiental es nula en comparación.

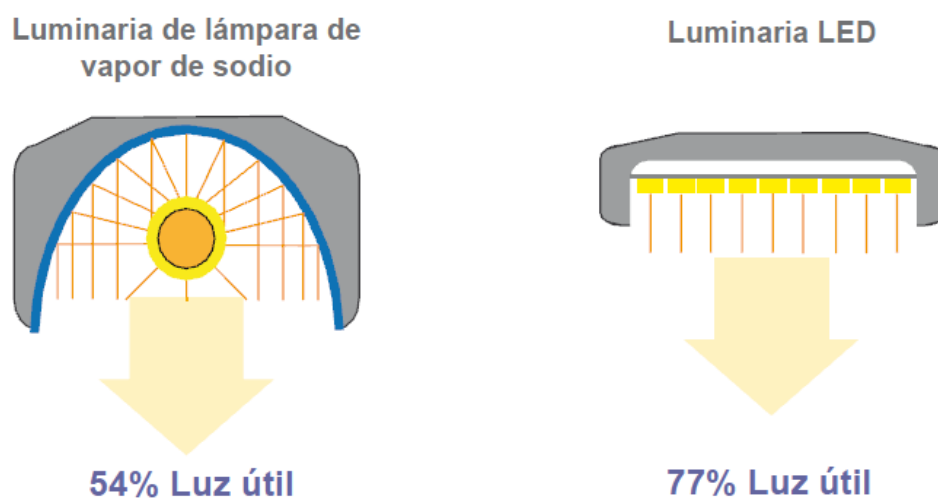


Figura 87. Comparación del aprovechamiento de la luz

El sistema fotométrico (lente de enfoque rectangular) del que se compone esta luminaria permite una distribución de luz que asegura la uniformidad de su brillo eliminando, a su vez, el deslumbramiento provocado por los focos comunes y la fatiga visual. Se mejoran de este modo las condiciones visuales disminuyendo el índice de accidentes viales.

Se elimina la fatiga visual provocada por las luces de estrobo tradicionales (ésta provoca que las luces tradicionales giratorias o intermitentes sean difíciles de distinguir.).

Las especificaciones técnicas de la luminaria se muestran en la siguiente tabla.

Modelo LU2			
Vida útil (75% de potencia emitida)	>50.000horas	Dimensiones	540 x 315 x 90 mm

Flujo real de la lámpara		4200 lúmenes	Cuerpo de la lámpara	Aluminio inyectado
Iluminancia	A 5m	>38 Lux	Peso	7kg
	A 6m	>26 Lux	Protección	IP65
Superficie iluminada	A 5m	16 x 6 m	Fuente de luz	Emisor LED BBE
	A 6m	20 x 8 m	Potencia LED	1W
Eficiencia de la lámpara		>90%	Temp. de color	Blanco frío 5000-7000 K
Consumo		56 W	Eficacia luminosa LED	80 Lm/W
Eficiencia energética		85%	Gradiente de haz	Rectangular
Voltaje de trabajo		24 V	Temp. ambiente de trabajo	De -30°C a 50°C
Rango de frecuencia		47-63 Hz		

Tabla 49. Características luminaria LU2

La empresa Onda Radio, S.A. certifica que la lámpara cumple con la Directiva 2002/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea de 27 de enero de 2003, y por tanto están exentos de plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente, polibromobifenilos y polibromodifenil éteres.

En el hipotético caso que la LU2 se hubiera instalado a 12 m de altura (en lugar de los 5m), la distribución de luz que se obtendría con la disposición de nuestra farola sería la siguiente:

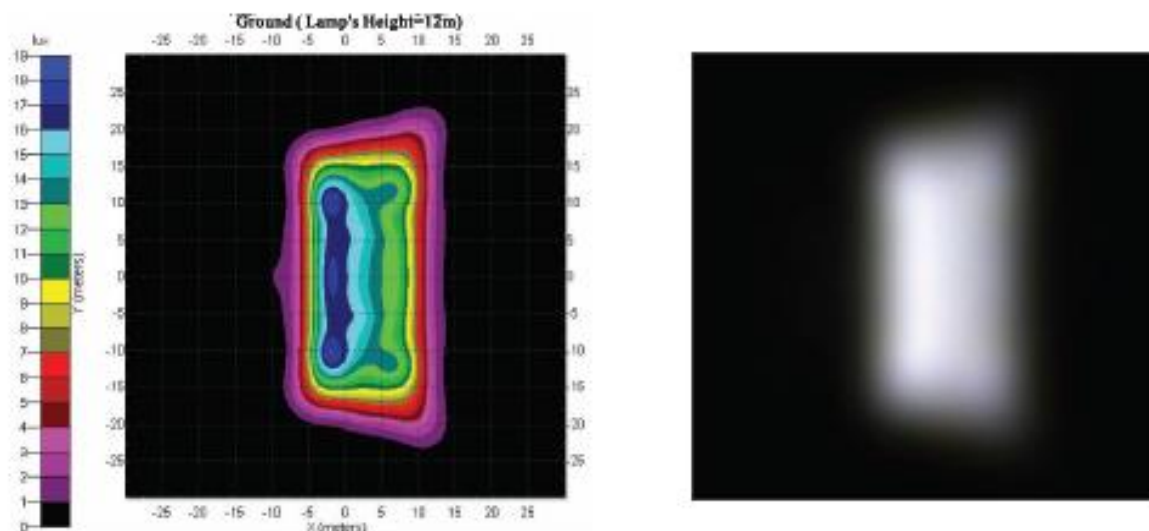


Figura 88. Curvas isolumínicas y representación de la luz de la luminaria LU2 a 12 m de altura

La diferencia practica entre instalarla a 12 m o a 5 m son los niveles de luxes y el tamaño del área iluminada, no obstante estas imágenes sirven para poder hacerse una idea aproximada.

Las siguientes curvas de distribución, caracterizan la lámpara LED LU2:

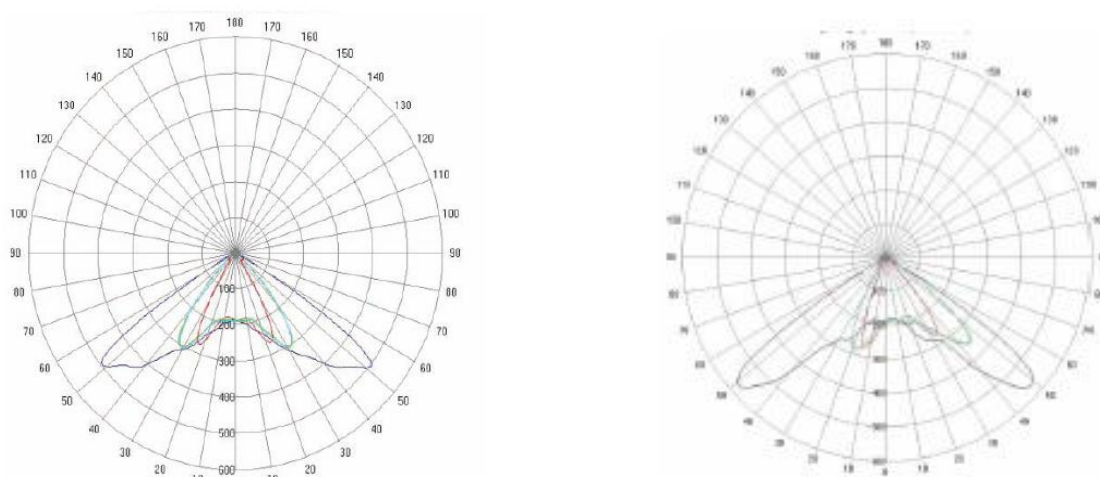


Figura 89. A la izquierda curvas de distribución para un diseño de instalación plano, a la derecha curvas de distribución para un diseño inclinado.

LUMINARIA PROPUESTA

Los motivos por los cuales se ha propuesto esta luminaria nueva son:

- Poder mantener un nivel de luminosidad en la vía pública adecuado durante todas las horas de oscuridad sin tener la necesidad de poner una gran superficie de captación solar, es decir reducir la energía consumida.
- Reducción del sistema de almacenaje de energía.
- Aumento de la versatilidad del uso de la farola.
- Simplificación de la luminaria en si misma.
- Aumento de la eficiencia de la luminaria.
- Reducción de costes tanto en la inversión inicial como en mantenimiento.
- Promoción de la importancia de la innovación continuada en los proyectos.

Para poder realizar un correcto diseño de una luminaria nueva, hay que tener presentes un gran número de parámetros y conceptos, en este caso se ha realizado solamente una aproximación a lo que podría ser el diseño final.

El primer paso en la realización de este modelado de la luminaria, es el de escoger un modelo de LED que cumpla con las especificaciones básicas que estamos buscando a nivel de iluminación y eficiencia, para ello se ha realizado un cribado dentro los LEDs de alta eficiencia para exterior que la marca CREE nos ofrece (ver tabla 50).

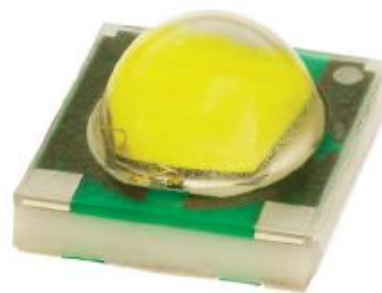


Figura 90. LED XLampXP-G

Modelo	Tem p. Color	I <i>optima</i>	V <i>optimo</i>	P <i>optima W</i>	Flujo luminic o @350 mA	Eficienc ia Lum/W	Nº LEDs Equivalent es a LU2 en flujo luminoso	Nº LED Redond eo	Potenci a Total necesar ia W
XLampX R-C	3700 - 5000 K	350 mA	3,50 V	1,23	80,60 lum	65,80	55,58	56	68,60
XLampX P-G	4000 - 5300 K	350 mA	3,00 V	1,05	130,00 lum	123,81	33,46	33	35,70
XLampX P-E	4000 - 5300 K	350 mA	3,20 V	1,12	114,00 lum	101,79	39,30	40	44,80

Tabla 50. Cribado de LEDs (tabla completa en anexos)

Una vez elegido el modelo, en este caso el XLampXP-G cuyas características principales se pueden ver en la tabla 51, se procede al montaje del circuito de conexión de los LEDs teniendo en cuenta varios aspectos. En este caso hemos se ha escogido el siguiente esquema de conexión (figura 91) que queda justificado observando los datos tanto del driver LED escogido para la lámpara (uno genérico del mercado, muchos de ellos tienen especificaciones similares) como los del LED escogido.

Modelo	Temp. Color	I_{optima}	V_{optimo}	P_{optima}	Flujo luminoso @350 mA	Eficiencia Lum/W	Voltaje inverso	Ángulo apertura
XLampX P-G	4000-5300 K	350 mA	3,00 V	1,05	130,00 lum	123,81	33,46	5V 125°

Tabla 51. Características LED escogido para la luminaria

Como se puede la conexión escogida son tres ristas de 11 LEDs en serie cada una conectadas en paralelo entre ellas. Los parámetros del análisis de este sistema son los siguientes:



Figura 91. Esquema de conexión de LEDs para la luminaria

$I_{EntradaDriver}$	$V_{EntradaDriver}$	$P_{EntradaDriver}$	$I_{SalidaDriver}$	$V_{SalidaDriver}$	$P_{SalidaDriver}$	I_{Rama}	V_{Rama}	P_{Rama}
1,55 A	24 V	37,26 W	1,05 A	33 V	34,65 W	350 mA	33 V	11,55 W

Tabla 52. Características eléctricas para el diseño de la conexión de los LEDs

Se debe tener presente que el esquema de conexión de los LEDs no es quien define las características físicas finales de la luminaria, pues la conexión real de los LEDs sobre un circuito permite variar ciertos parámetros como son:

- La disposición física en la luminaria en coordenadas X e Y (que no hace referencia a la conexión ENTRE los LEDs)
- La rotación del LED con el fin de focalizar la luz y jugar con su ángulo de iluminación.

La colocación final de los LED de manera aproximada en la luminaria, sería la representada en la figura 92 con una inclinación concreta cada uno para obtener una superficie de iluminación y unos valores de iluminancia media similares a los de la LU2.

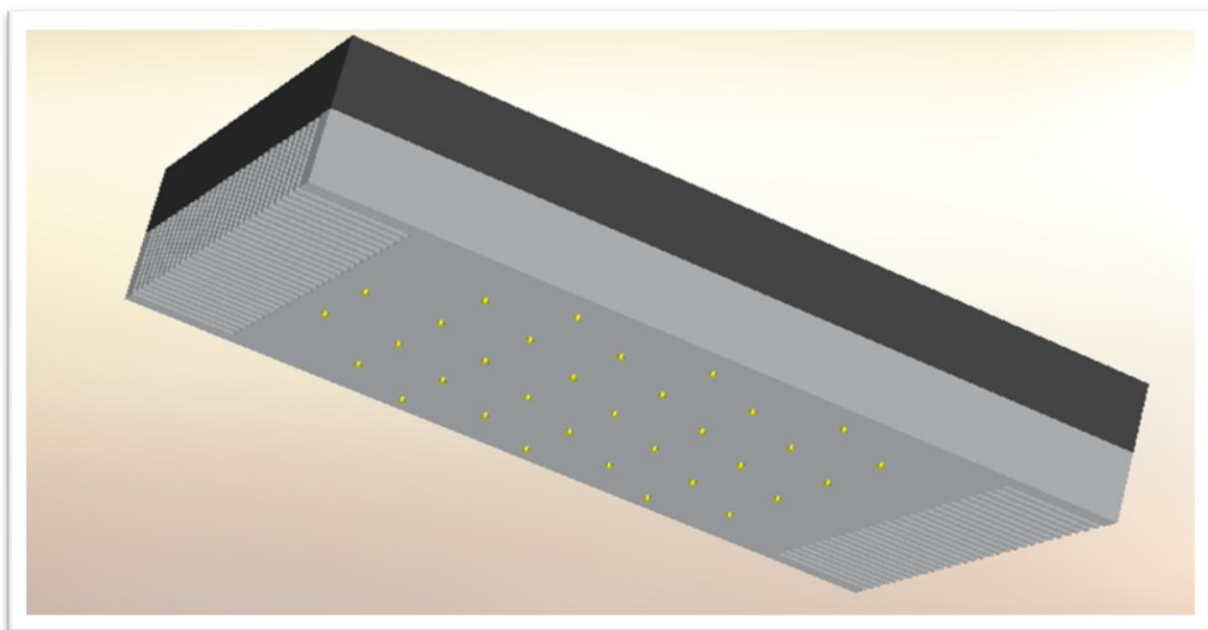


Figura 92. Idea del diseño de la nueva luminaria

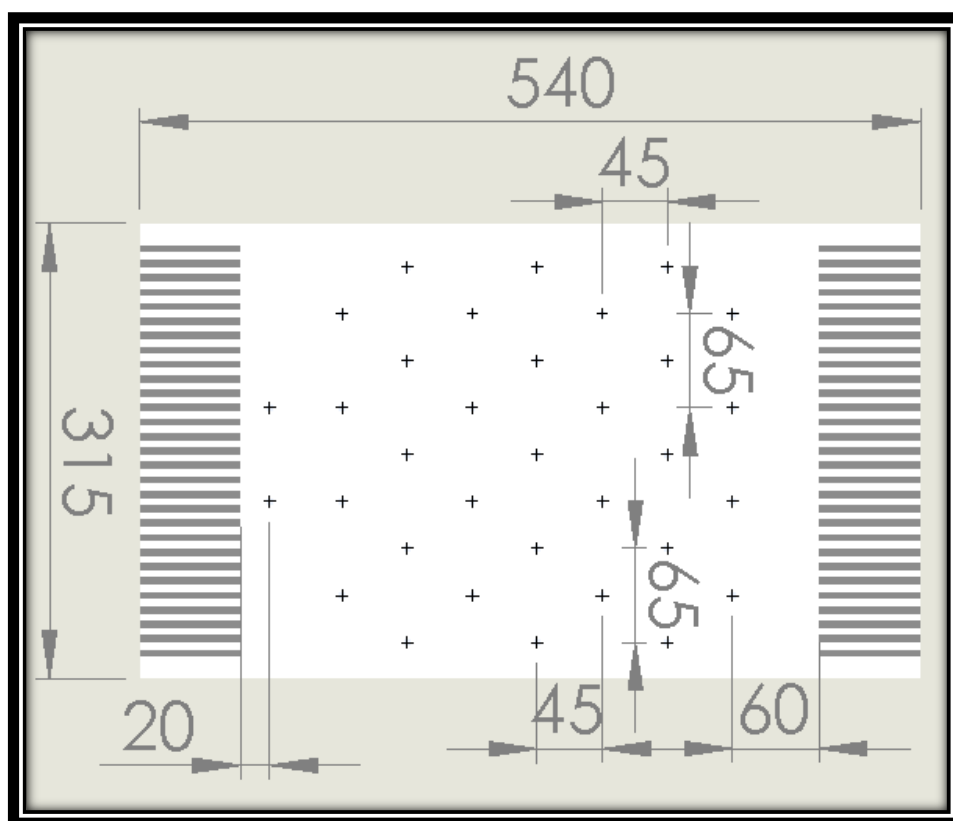


Figura 93. Cotas principales de la luminaria en mm

III. Descripción del circuito eléctrico y sus componentes

Los módulos fotovoltaicos transforman la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua. Esta electricidad es llevada a un regulador de carga, cuya función es supervisar y controlar la tensión, intensidad, capacidad de carga y descarga del banco de baterías donde se almacenará la energía. Por la noche, la energía eléctrica almacenada en las baterías, mediante el control por el regulador, se enviará a las cargas del sistema (los LEDs de iluminación).

El regulador de carga es uno de los dispositivos principales del sistema, y debe asegurarse su correcto funcionamiento.

PANELES PV

La farola autosuficiente sólo necesita de un panel HIP-230HDE1 por lo que la conexión será directa al regulador.

Por otra parte el grupo de farolas necesita de 4 paneles 315 SUNPOWER interconectados en paralelo (figura 95), de tal forma proporcionaran el voltaje de una única placa, 4 veces más intensidad y por consiguiente 4 veces más potencia.

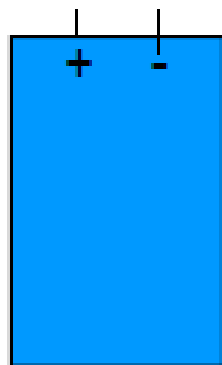


Figura 94. Representación panel farola autosuficiente

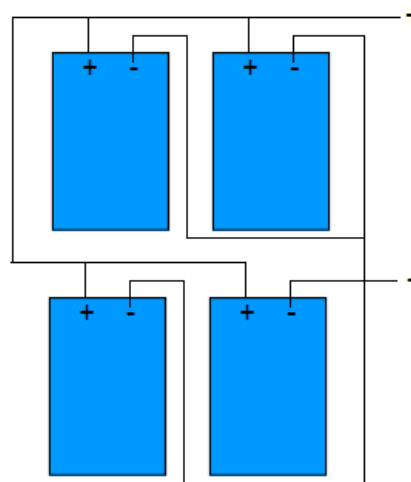


Figura 95. Representación interconexión paneles farola grupal

A continuación se pueden encontrar las gráficas representativas de ambos paneles:

Farola autosuficiente panel HIP-230HDE1

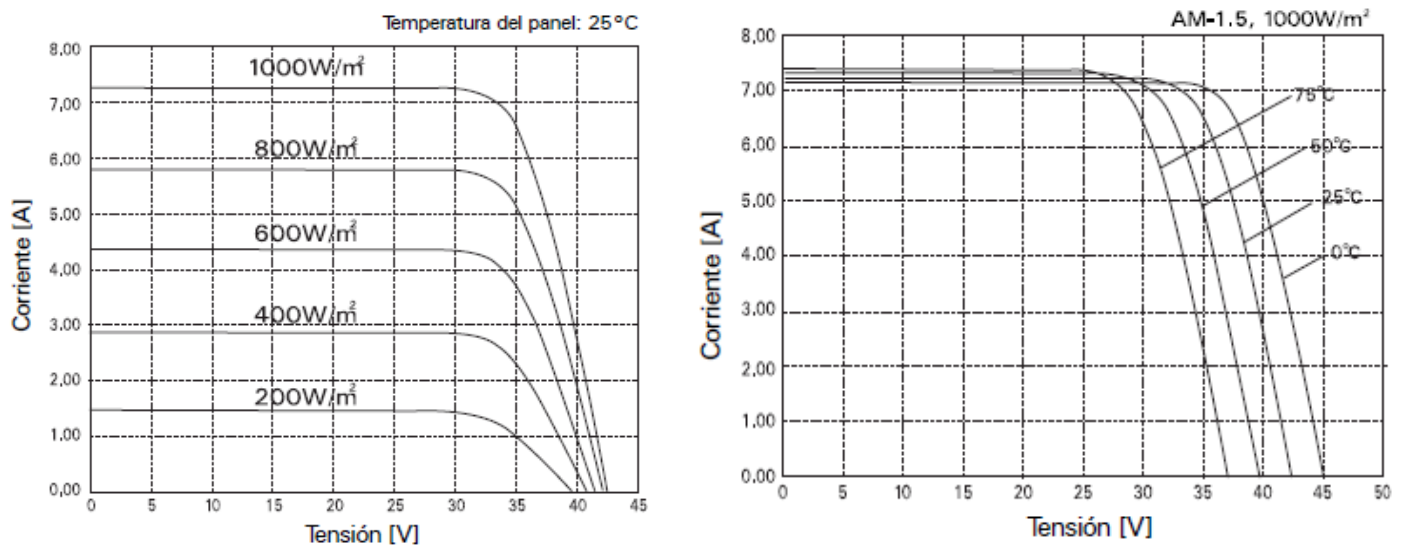


Figura 96. Gráficas de dependencia con radiación y con temperatura panel farola autosuficiente

Grupo farolas paneles 315 SUNPOWER

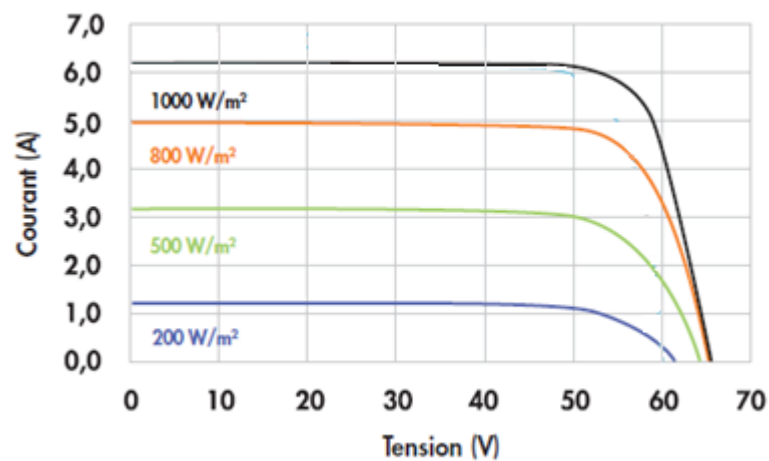


Figura 97. Gráfica de dependencia con radiación panel farola grupal

REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga controla la tensión y la corriente que recibe el banco de baterías, durante su carga. Sirve como sistema de protección contra sobrecargas de la batería e impide que el panel funcione como carga cuando la batería está llena y hay poca o nula radiación solar.

En este proyecto se eligen dos reguladores de carga diferentes dados los dos diseños que se presentan de alumbrado. Ambos reguladores escogidos, son “inteligentes” es decir se pueden programar para diferentes tipos de carga y descarga (lo que nos servirá para hacer mantenimiento

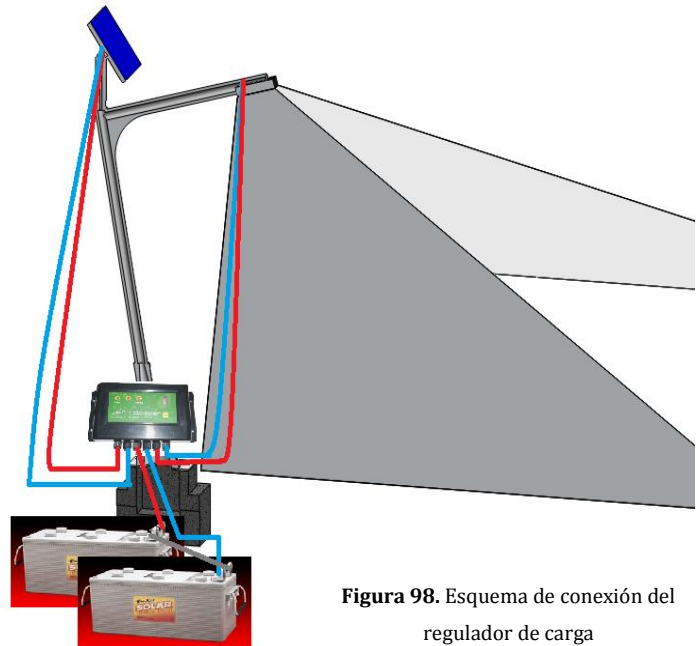


Figura 98. Esquema de conexión del regulador de carga

de las baterías evitando, en cierto modo, el aumento del efecto memoria que ya poseen), servirán para convertir el voltaje del panel al de las baterías y luminarias entre otras aplicaciones más específicas según la marca y modelo.

El regulador elegido para la farola autosuficiente es el modelo *solar street light controller* de la marca *evershinepv*, ideal para aplicaciones de alumbrado público pues incorpora un convertidor de tensión, que como se ha mencionado con anterioridad, permite seleccionar la tensión de salida hacia el banco de baterías, este modelo dispone también de funciones de programación para el control de el encendido y apagado de las luminarias e incorpora los drivers de control de intensidad necesarios para el optimo funcionamiento de las mismas.

Modelo	Solar Street light controller
Tensión de salida	24 V
Máx. corriente de entrada y salida	10 A
Máxima potencia de entrada y salida	240 W
Temperatura ambiente	-20 a +40°C

Rendimiento	95 %
Dimensiones	143 x 54 x 83 mm
Controlador de LED	Sí

Tabla 53. Características del regulador de carga farola individual

Así mismo, el regulador elegido para el grupo de farolas es el modelo XW-MPPT60-150 del fabricante *Xantrex*. Debido a su carencia de drivers de control tendremos que añadirlos a cada farola conectada, y como extra un interruptor corpuscular que permitirá el encendido y apagado de las luminarias automáticamente en condiciones de poca visibilidad u oscuridad. Este regulador también incorpora un convertidor de tensión, y sus características específicas son las siguientes:

Modelo	XW-MPPT60-150
Tensiones de trabajo	Entrada 60V – Salida 24V
Máx. corriente de entrada y salida	60 A
Consumo de funcionamiento	2,5 W
Temperatura ambiente	-40 a +85°C
Rendimiento	95 %
Dimensiones	368 x 146 x 138 mm
Peso	4,8 Kg
Controlador de LED	No

Tabla 54. Características del regulador de carga grupo farolas

INTERRUPTOR CREPUSCULAR

El interruptor crepuscular, se encuentra en el sistema de conexión múltiple de farolas, en la parte superior donde no le afecten las sombras. También se podría poner en las autosuficientes, pero se ha creído apropiado ejemplificar las dos maneras de programación del encendido y apagado de la luz



Figura 99. Interruptor crepuscular

(Timmer Vs. Interruptor Crepuscular).

Este interruptor, enciende lámparas cuando la iluminación ambiental desciende por debajo de un nivel mínimo (15 luxes) y supera un cierto intervalo de tiempo, apagándolas cuando vuelve a superarse ese nivel y ese intervalo temporal, así nos evitamos un falso encendido/apagado por una causa puntual.

Existe una gran variedad de marcas y modelos en el mercado entre los que elegir, actualmente un referente para usos de alumbrado público es el LUMANDAR 1000 de la marca Honeywell.

DRIVERS LED

El driver o controlador de LEDs, no es más que un pequeño dispositivo que se conecta entre el regulador de carga y la matriz de LEDs con el objetivo de garantizar el máximo brillo de los LEDs durante toda su vida útil y alargar esta. Los controladores LED conmutan la corriente a elevada frecuencia (para que el observador vea una luz continua y no parpadeante) con el objetivo de poder alimentarlos a máxima corriente sin que se acaben quemando.

Se consigue también alimentar al LED siempre con una misma intensidad de corriente muy controlada (en este caso 300mA) aceptando una variación relativamente ancha del voltaje de entrada al driver, por lo que es el elemento clave para configurar correctamente la matriz de LED de la luminaria propuesta en este proyecto.

En el caso de la farola autosuficiente, el regulador de carga ya lleva incluido un controlador LED para iluminación con una intensidad de salida de 300mA. Por lo contrario el regulador de carga de la batería grupal no lleva controlador de LEDs, dado que es aconsejable que se utilice uno por luminaria (véase figura 73 (esquema farola grupo)).

Las características relevantes del controlador LED utilizado se muestran en la siguiente tabla:

Modelo	DCCP100U-T (24V 100W)
Voltaje de entrada	20-32 V
Voltaje de salida	30-40 V

Intensidad de salida	0,30-4 A
Potencia de trabajo	10-100 W
Eficiencia	>88%

Tabla 55. Características del regulador de carga grupo farolas

BATERÍAS

La función de las baterías es almacenar la energía producida durante el día por los paneles fotovoltaicos para poder utilizarla de noche, cuando es requerida. En este proyecto se han optado por baterías de electrolito gelificado que aportan numerosas ventajas como el hecho que no necesitan un mantenimiento del nivel de electrolito, otra de ellas es que pueden estar en cualquier posición sin riesgo de derrame o otros problemas. En un futuro se podría optar por baterías de ión-litio dada la rápida evolución que están sufriendo pues son una apuesta segura para los coche eléctricos, no obstante aún no es aconsejable utilizarlas en nuestra instalación pues los precios son desorbitados si tenemos presente la cantidad de energía que necesitamos almacenar, etc.

Para la farola autosuficiente, se ha seleccionado el modelo 8G4DLTP-DEKA del fabricante MK-Battery. Serán necesarias 2 baterías conectadas en serie para conseguir una diferencia de potencial de 24V que es la que interesa y la capacidad calculada en el apartado anterior dimensionado PV.

Modelo	8G4DLTP-DEKA
Tensión nominal	12 V
Capacidad @ C100	210 Ah
Peso	57,6 Kg
Dimensiones	527(L)x214(W)x275(H) mm

Tabla 56. Características de la batería de la farola individual

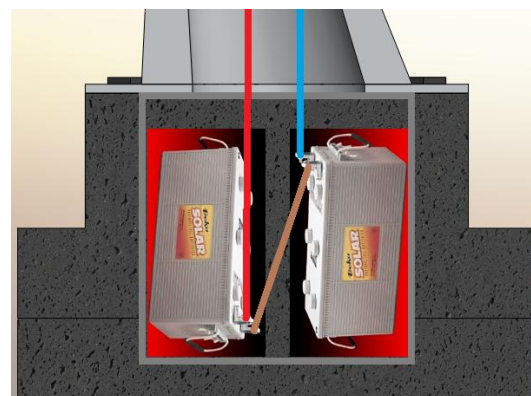


Figura 100. Colocación de las baterías en farola individual

En cambio para el sistema de conexión múltiple, se ha seleccionado el modelo 8V 7 OPzV 490 del fabricante Hoppecke. Serán necesarias 12 baterías conectadas en serie para conseguir una diferencia de potencial también de 24 V y la capacidad calculada en el apartado anterior de dimensionado PV. En este caso, las baterías, van colocadas en la estructura central.

Modelo	8V 7 OPzV 490
Tensión nominal	2 V
Capacidad @ C100	735 Ah
Peso	42 Kg
Dimensiones	168(L)x208(W)x535(H) mm

Tabla 57. Características de la batería de la farola grupal

CUADRO ELÉCTRICO

Tanto la farola autosuficiente (en su interior) como el grupo de farolas (en la estructura central), tendrán algún tipo de cuadro eléctrico que almacenará los reguladores, las baterías y las protecciones de continua.

La caja será metálica, con la cubierta puesta a tierra para ofrecer protección contra los contactos indirectos, y con un cierto nivel de seguridad para que solo el personal autorizado pueda acceder a ella de forma fácil.

Los cuadros eléctricos estarán debidamente protegidos contra la humedad, también contendrán un sistema de accionamiento manual de la luminaria en su interior por si fuera necesario su uso fuera del horario del *timmer* o del sensor crepuscular, para tareas de mantenimiento o de emergencia y el grado de protección del cuadro, será como mínimo de IP55 según norma UNE-60529 correspondiente y de IK10 si es la norma europea UNE-EN 50102

PROTECCIONES

Las protecciones están formadas por todos aquellos elementos capaces de prevenir incidentes en los diferentes sistemas que forman la instalación. Toda instalación debe contener algún elemento de seguridad que la haga segura hacia las personas o bienes, como pueden ser los propios aparatos del sistema.

En ésta instalación, al estar situada en el exterior y en una zona pública, se han tenido en cuenta algunas protecciones especiales para evitar posibles daños:

- Protección contra contactos directos
- Protección contra contactos indirectos
- Protecciones elementos CC cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones

Protección contra contactos directos

En ningún caso se tendrá acceso directo a los conductores de la instalación o a los puntos de conexión, los cuales deben estar aislados eléctricamente con un material adecuado.

Además, todas las conexiones se deben realizar utilizando bornes de conexión debidamente protegidos, y siempre dentro de un cuadro de conexión cerrado.

Protección contra contactos indirectos

Con el fin de proteger a las personas o animales de contactos indirectos (contacto con una masa que por accidente esté puesta a tensión) se utilizará interruptores diferenciales con una sensibilidad de de 30mA i la debida red de puesta a tierra. De ésta forma se evitará que en cualquier situación, en un contacto indirecto pueda haber una tensión superior a 24V.

En la instalación que nos ocupa, hay tramos a unos 60V y tramos a 24V. Una instalación de continua no es tan peligrosa como una de alterna, pero estando situada en un lugar frecuentado por seres vivos, toda protección es bienvenida.

Elementos de protección CC

Los elementos de protección en CC sirven para proteger los módulos fotovoltaicos y las baterías de sobreintensidades, sobretensiones y cortocircuitos.

Los módulos fotovoltaicos de la aplicación llevarán unos fusibles de protección de 1,3 veces la corriente de cortocircuito para evitar dañar el regulador si se diera el caso. Entre las baterías y el regulador, también se utilizará un fusible, en este caso de 1,5 veces la corriente del regulador, para proteger las baterías.

Elemento	Fusible placas	Fusible Batería-Regulador
F. Autosuficiente	Fusible de protección de alta velocidad de corte 10A. Modelo NOROHS G.C1	Fusible de protección de alta velocidad de corte 15A. Modelo NOROHS G.C1
Grupo Farolas	Fusible de protección de alta velocidad de corte 35A. Modelo NOROHS G.C1	Fusible de protección de alta velocidad de corte 75A. Modelo NOROHS G.C1

Tabla 58. Fusibles de protección

TOMAS A TIERRA

Tanto las placas solares, como la estructura de soporte, el báculo de la farola i la luminaria, deben estar conectados a una toma de tierra, se aprovecha la cimentación del equipo para realizarla a través de 4 varillas que se encuentran en contacto con la estructura general y en caso de necesidad se puede realizar alguna toma extra si se cree necesaria.

OTRAS PROTECCIONES

Canalizaciones eléctricas

Las canalizaciones serán estancas, utilizándose para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas y dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a las proyecciones de agua, IPX4. Las canalizaciones prefabricadas tendrán el mismo grado de protección IPX4.

Receptores de alumbrado

Los receptores de alumbrado estarán protegidos contra las proyecciones de agua, IPX4.

IV. COMPONENTES EXTRAS

En este apartado se pretende dar simple ideas de posibles mejoras o elementos extras que se le podría añadir a estas farolas si se hiciera una ampliación del proyecto o en un futuro cuando se hagan necesarias y/o la tecnología lo permita.

CAPTADORES DE MOVIMIENTO:

Insertando captadores de movimiento para detectar la presencia de personas y/o vehículos, en las cercanías de la farola, se podría regular los niveles de luminosidad de la propia consiguiendo así un ahorro energético aún mayor y una disminución de la contaminación lumínica nocturna.

ANALISIS DE LA DENSIDAD DE TRAFICO:

Relacionado con el punto anterior, también se podría conseguir una disminución de la energía consumida por las farolas si se añadiera algún sistema de análisis de la densidad de tráfico pues dependiendo de la velocidad y el número de coches se podría reducir el nivel de luminosidad necesario, por ejemplo en situación de embotellamiento o de circulación densa.

SISTEMA DE INTERACCIÓN COCHE FAROLA:

Se trataría de un sistema de información vía GPRS a través del cual el coche podría recibir información del estado de la carretera, el tráfico, los obstáculos o cambios en la vía que puedan haber, etc.

PANELES INDICADORES:

Paneles informativos de incidencias, funcionarían de forma temporal sólo cuando exista algún riesgo en la carretera como accidentes, deslizamientos, lluvias, hielo... El panel se collaría en el báculo de la farola.

SISTEMA DE AUTOGESTIÓN DEL MANTENIMIENTO:

Aprovechando el sistema GPRS y un pequeño sensor de luz, la farola es capaz de hacer un “mantenimiento automático de sí misma”, la idea es la siguiente: Una vez al día mediante GPRS se envía al centro de control una señal por parte de cada farola, con el nivel de luminosidad medio durante la noche de un punto concreto, en el caso que este nivel sea más bajo que un cierto valor de referencia, querrá indicar que la iluminación es insuficiente, ya sea porque hay LEDs fundidos o porque hay problemas con los paneles solares, etc. En esta situación se enviará en la medida de lo posible un operario para arreglar el problema. En caso de que alguna farola no envíe sus datos un día querrá indicar también que hay problemas o con las baterías o con la señal GPRS por lo que también se enviará en cuanto sea posible un operario para revisar el problema y solucionarlo.

PUNTO SOS:

Considerar la opción de aprovechar los báculos de ciertas farolas de la vía para adjuntar un punto de información SOS.

REPETIDOR WIFI:

Instalar antenas de repetición de señal WIFI en el momento en que se quiera/pueda para crear una red común para la población, un ejemplo de esta aplicación serían los nuevos semáforos de la ciudad de Barcelona que ya incluyen esta posibilidad.

CONEXIÓN A LA RED

Como posible ampliación para un proyecto futuro, se podría considerar la opción de conectar las farolas a la red, así se asegura el correcto funcionamiento de estas en zonas de poca radiación solar.

Mirando un poco más al futuro, incluso podrían servir como puntos de recarga para vehículos eléctricos.

3.2.3 Dimensionado de la cimentación.

Características Físicas de la Farola	
Estructura de Soporte	Plástico reforzado con fibra de vidrio
Envoltorio Luminarias	Aleación Alúmina y PC
Dimensiones Luminarias	540x315x90 mm
Peso Luminarias	7 Kg
Altura Báculo	4500 mm
Orientación Módulos PV	0º - 360º
Inclinación Módulos PV	55º
Dimensiones Módulos PV	1610x861x35 mm
Peso Módulos PV	16,5 kg
Grado de Protección	IP 44 - IP65

Tabla 59. Características físicas de las farolas

A partir de los datos físicos de la farola, los registros de viento de la zona de implantación de la instalación (con un $FS=2,5$) y los datos geotécnicos del suelo se calcula la cimentación para la farola hecha con mezcla de hormigón HM-20, que responderá a la norma EHE o equivalente. El viento y la geotecnia varían según donde el comprador desee instalar la farola, por lo que la cimentación se sobre dimensiona cumpliendo los requisitos básicos expuestos en el EHE-08 y el vendedor suele especificar las características máximas que puede soportar; corre por cuenta del comprador realizar los estudios del terreno y el viento de la zona y verificar que la cimentación es válida para ese lugar (el vendedor no está obligado a incluir la cimentación).

Según lo expuesto en el párrafo exterior la cimentación del este diseño, será del tipo superficial y cumplirá los siguientes requisitos:

1. Transmite las cargas al terreno sin superar su resistencia para evitar hundimientos y deslizamientos del mismo [define la capacidad de portante].
2. No induce deformaciones en el terreno incompatibles con la estructura [asiento máximo general admisible en terreno sin cohesión 50 mm y en terrenos coherentes 75 mm].

3. El elemento estructural tiene suficiente resistencia.
4. Es perenne [resistencia al agua y otras agresiones del terreno].
5. Está protegida frente a modificaciones naturales o artificiales del entorno [heladas, cambio volumen, variación del nivel freático...].
6. Coeficiente de seguridad frente al hundimiento $F=3$.
7. Dimensionado con 4 varillas roscadas como sistema de anclaje a la base de la farola.
8. Profundidad mínima del fin de la cimentación 0,75 m

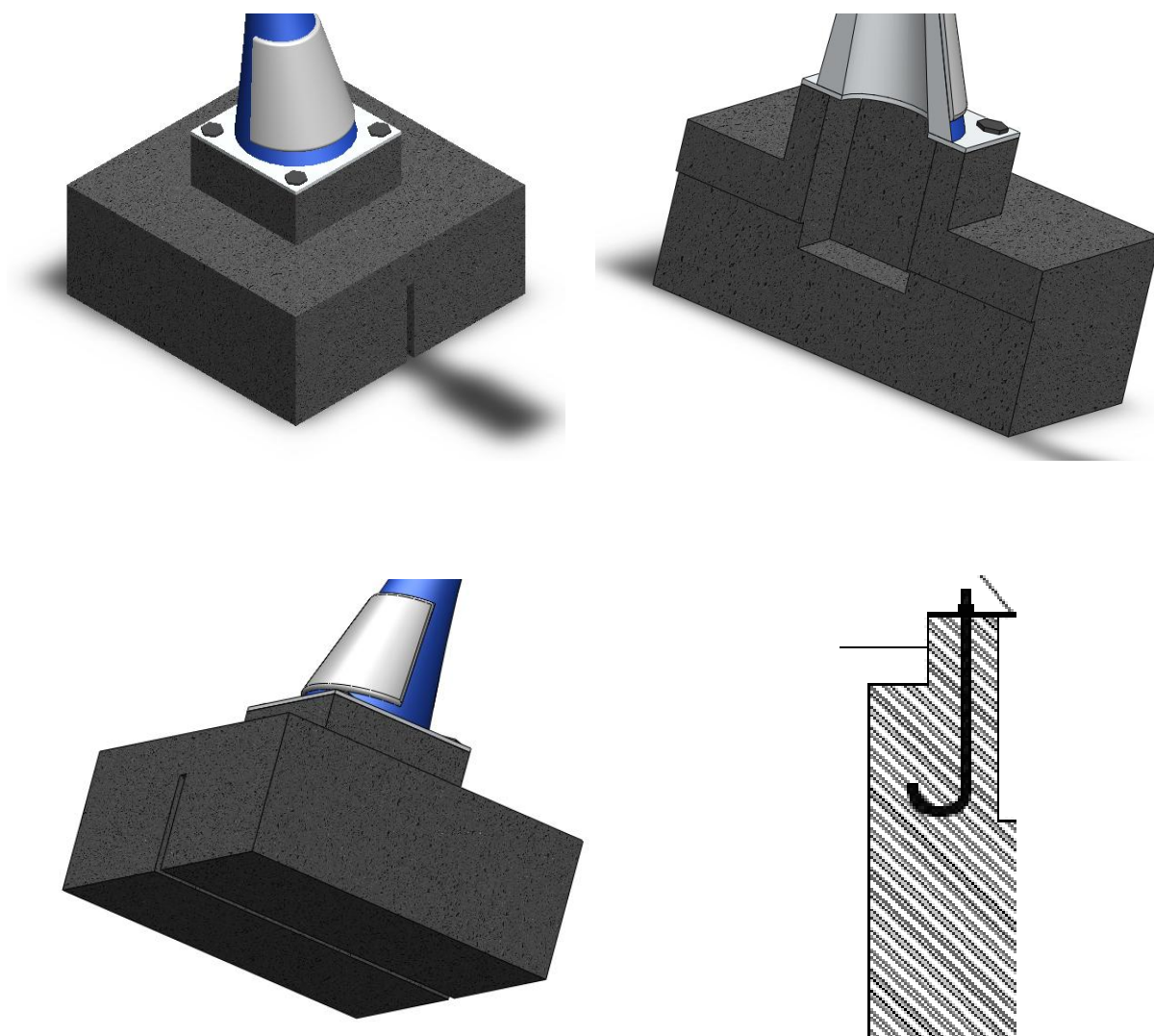


Figura 101. Render de la cimentación general

Para el cálculo de las medidas de la cimentación principalmente se tiene en cuenta los momentos sobre un punto cualquiera de la farola y se calcula la masa necesaria de

hormigón para evitar el vuelco de la estructura con un $FS=3$, posteriormente se tienen en cuenta otros factores relacionados con el terreno.

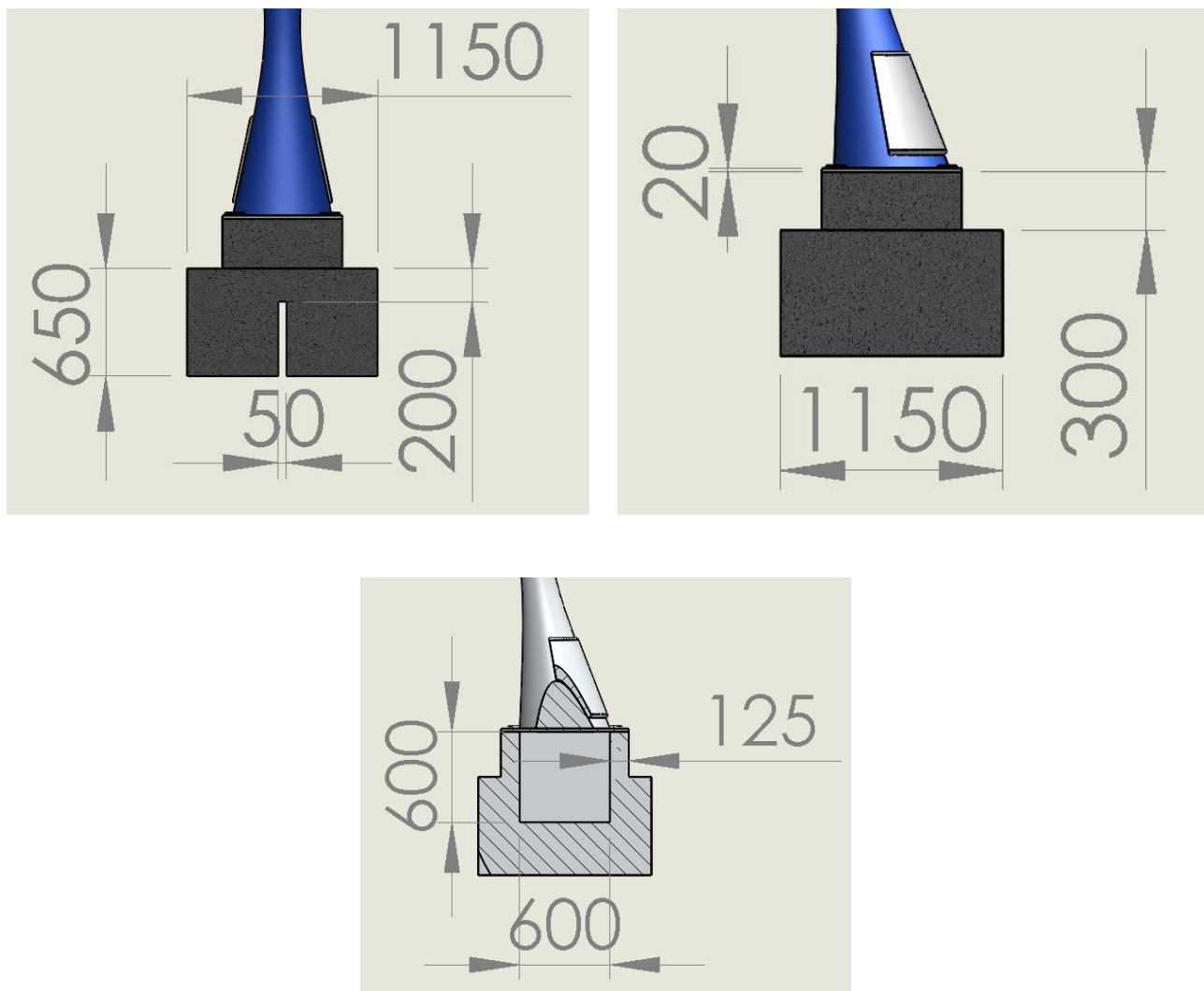


Figura 102. Esquema de cotas de la cimentación general

Como se puede ver la cimentación cuenta con un hueco interior por si fuera necesario guardar algún elemento, también se le ha añadido una ranura para dar ventilación y drenaje.

Como se ha explicado antes las farolas pueden instalarse en diversos lugares con propiedades geotécnicas diferentes, por ello se ha utilizado un procedimiento de cálculo inverso para la cimentación que no tiene presente las condiciones del terreno, es decir se ha realizado el dimensionado de un bloque de hormigón armado “como si se encontrara sobre la superficie” siguiendo el procedimiento de cálculo expuesto a continuación:

1. Simplificación del diseño y análisis de la peor situación de carga de viento.

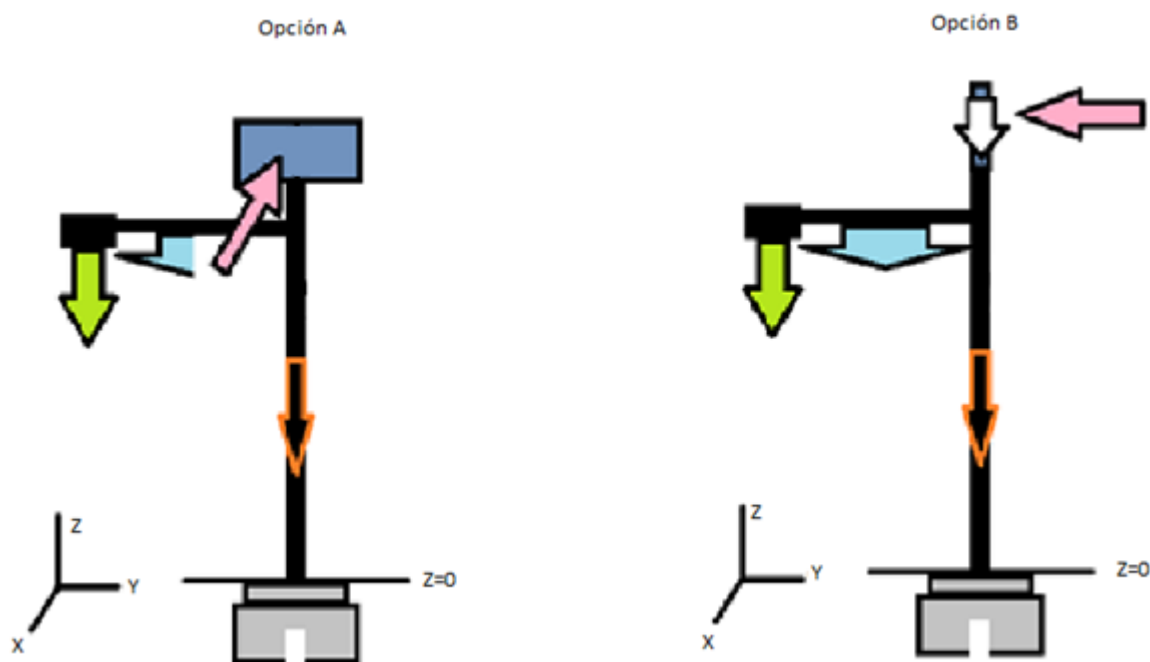


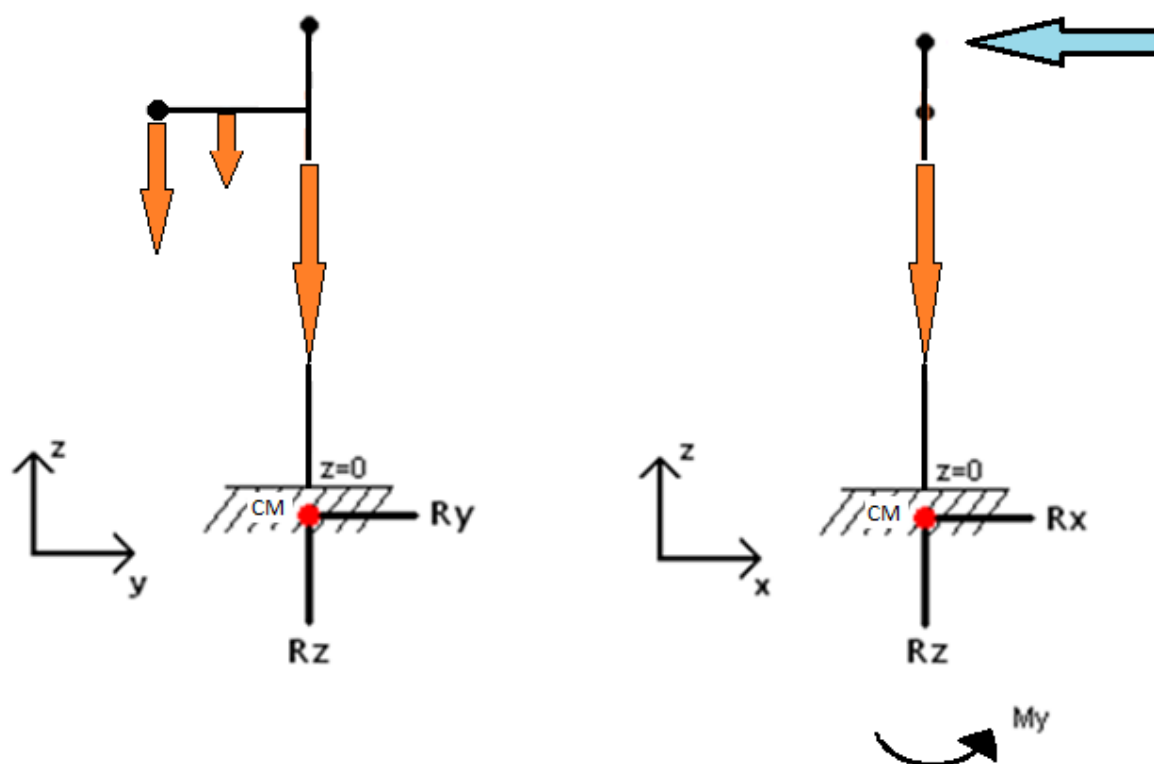
Figura 103. Análisis de fuerzas implicadas

La peor situación se encuentra en el hipotético caso de que la placa se encuentre a 90° respecto el plano del suelo y que la carga de viento sea perpendicular a ella.

En la figura 103 se puede ver el diagrama de fuerzas que actúan en la estructura, en verde azul y naranja tenemos los pesos propios de los diferentes elementos que la componen, mientras que en rosa tenemos la fuerza del viento perpendicular a las placas. Como las placas se pueden rotar 360° según las necesidades del comprador, se calcula la opción A y B para dimensionar correctamente la cimentación.

Consideramos la cimentación como un empotramiento en el suelo por lo que tendremos reacciones de fuerzas y de momentos e la base de la farola como se puede ver en las siguientes figuras, siendo las primeras la opción A y las segundas la opción B:

Opción A



Opción B

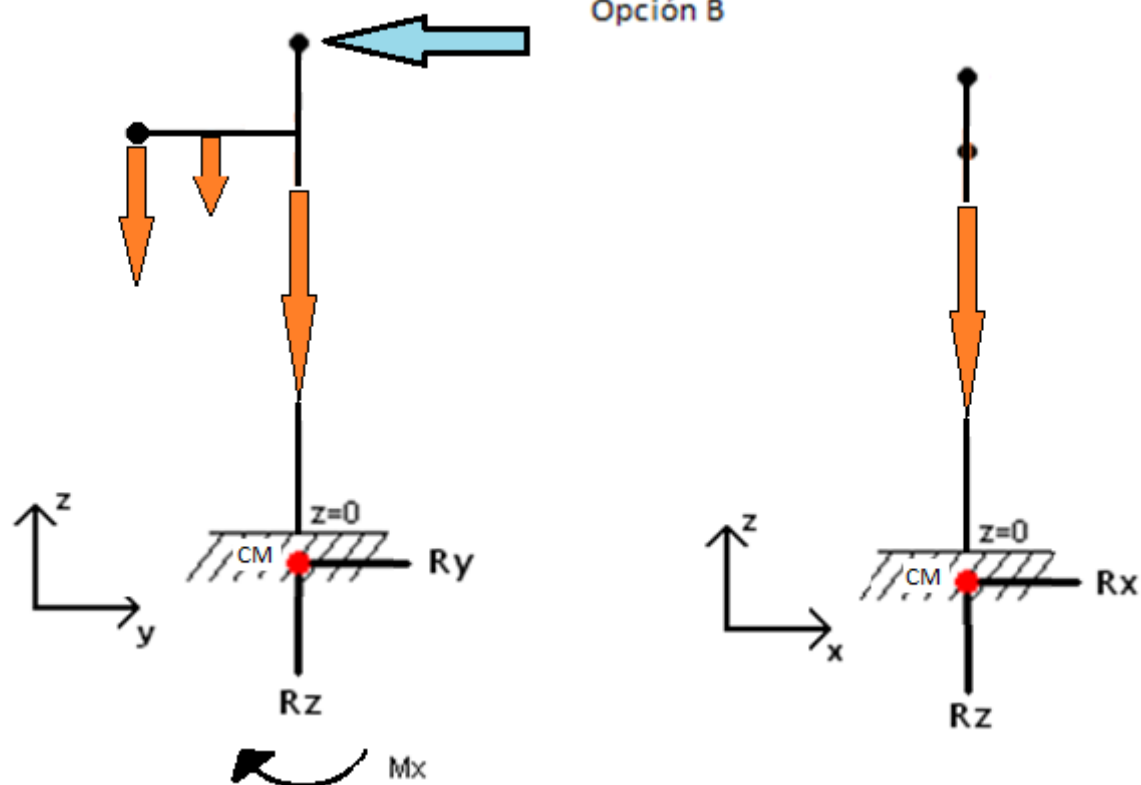


Figura 104. Simplificación del estudio de fuerzas

2. Análisis de la cimentación propuesta dado que hacemos un proceso inverso, es decir primero se propone una cimentación y luego se calcula el aguante:

$$\text{Volumen} = (1,05 \cdot 1,05 \cdot 0,65) + (0,30 \cdot 0,75 \cdot 0,75) - (0,60 \cdot 0,625 \cdot 0,625) - (0,05 \cdot 1,05 \cdot 0,45) = 0,6664375 \text{ m}^3$$

Densidad del hormigón armado = 2500 – 3500 Kg/ m³

Masa de la cimentación considerando la densidad del hormigón armado 2500 Kg/ m³, dado que si es superior aguantará más y el cálculo se hace para el estado límite:

$$\text{Masa} = \text{Volumen} \cdot \text{Densidad} = 0,6664375 \cdot 2500 = 1666,09 \text{ Kg}$$

Coordenadas del centro de masas de la cimentación según los ejes de la figura 104, siendo el origen (0,0,0) (punto 0) el punto de contacto de la columna de la farola con el suelo:

$$\text{CM } (0, 0, -900) \text{ mm.}$$

3. Cálculo de los momentos relevantes que producirían el volcado de la estructura (Ver figura XX):

$M_y = M_x = (R_y \cdot 0,9) / FS$; siendo $R_y = R_x = \text{Fuerza_viento} > R_z = \text{Masa_ciment} \cdot \text{densidad}$, 0,9 la distancia del CM al suelo real en metros y FS el factor de seguridad al volcado = 3

$$M = 1666,09 \cdot 0,9 / 3 = 4898,304 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

4. Cálculo de la fuerza y la velocidad máxima del viento:

Los momentos relevantes al vuelco que el viento puede producir sobre la estructura como máximo, serán $M_y < M_x = M$, que en este caso $M = FS \cdot F_{\text{viento}} \cdot \text{Altura_CM_Placa} +$

$Pp_{Lum} \cdot g \cdot Dist_{eje} + Pp_{Brazo} \cdot g \cdot Dist_{eje}$, siendo en este caso FS el factor de seguridad al viento con un valor 2,5, por lo que:

$$4898,304 = 2,5 \cdot F_{viento} \cdot 4,5 + 7 \cdot 9,81 \cdot 2,07 + 85,82 \cdot 9,81 \cdot 1,10 \rightarrow F_{viento} = 351,87 \text{ N}$$

Se calcula ahora la presión dinámica del viento sobre la superficie de las placas PV para encontrar la velocidad máxima del viento según la relación $P_{din} = 0,5 \cdot dens_{aire} \cdot V_{viento}^2$, así pues:

$$P_{din} = F_{viento} / Superficie_{PV} = 351,87 / 1,38 = 254,97 \text{ N/m}^2$$

$$V_{viento} = (P_{din} \cdot 2 / dens_{aire})^{0,5} = (254,97 \cdot 2 / 1,2)^{0,5} = 20,61 \text{ m/s} \rightarrow 74,21 \text{ Km/h}$$

5. Análisis del cálculo:

La cementación propuesta, aguanta sin estar “enterrada” vientos de **74,21 km/h** con un factor de seguridad total en el cálculo de 7,5 ($= 2,5 \cdot 3$), por lo que podemos asegurar que aguantará la fuerza de los vientos, no obstante como se ha dicho anteriormente forma parte de la responsabilidad del comprador de la farola comprobar que según la geotecnia del terreno esta cimentación sea correcta.

3.2.4 Estudio de resistencia y deformaciones.

Para realizar el estudio de la resistencia mecánica y de la deformación de las farolas, se partirá del diseño realizado con el programa SolidWorks.

I. FAROLA AUTOSUFICIENTE

MATERIAL

La farola está realizada con PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio).

Este material es un compuesto de resinas de poliéster y fibra de vidrio. El proceso de obtención de este material por pultrusión se da del siguiente modo:

1. Los hilos de fibra de vidrio se arrastran al interior de una cubeta
2. En la cubeta se impregnan de resina
3. El compuesto entra en el molde calentado.
4. Se inicia la polimerización y curato de la resina a alta temperatura
5. Los cabezales de tracción estiran el perfil polimerizado hasta la sierra
6. Se corta y se pule.

El proceso de pultrusión permite un gran acabado superficial.

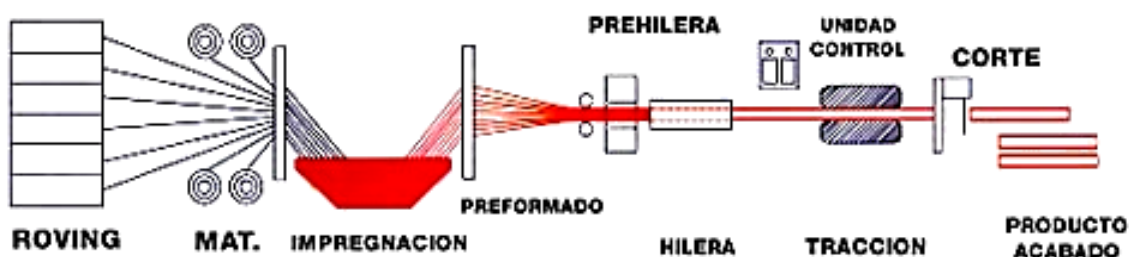


Figura 105. Proceso productivo de pultrusión del PRFV

El PRFV cuenta con las siguientes características que lo hacen adecuado para este proyecto:

- Una gran robustez estructural.
- Permanece inalterable a la corrosión.
- Ligero.
- Tiene una alta resistencia al impacto y a la fatiga.
- Aislante desde el punto de vista térmico, eléctrico y acústico.

- Homogéneo y poco poroso.
- Tiene una alta resistencia al fuego (para ello deben usarse resinas ignífugas).
- Mecanizado rápido y fácil manipulación.
- Permite la construcción de elementos curvados.
- No requiere mantenimiento alguno.
- Ofrece un excelente acabado superficial y una gran diversidad de formas i colores.

Las propiedades mecánicas de este material, que son necesarias para realizar el cálculo de las tensiones y las deformaciones que se producen, se muestran en la siguiente tabla:

Propiedad	Valor
E [MPa]	15000
G [MPa]	6340
ν	0.183
ρ [kg/cm³]	0.00165

Tabla 60. Propiedades del PRFV

CARGAS APLICADAS

Las cargas a las que está sometida la farola se calcularán según las especificaciones del Eurocodigo 1.

Para el cálculo tendremos en cuenta:

- Pp: El peso propio (C. permanente).
- Pp_panel: El peso propio del Panel (C. permanente).
- Impacto de vehículos (C. variable).
- Pp_luminaria: El peso de la luminaria (C. permanente).
- F_v: La fuerza del viento (C. variable).

Las cargas permanentes son mayoradas con un factor de seguridad de FS=1,35, las cargas variables con un FS de 2,5 y las accidentales no se mayoran.

Se tomará la fuerza del viento ($F_v = 351,87\text{N}$) hallada en el cálculo de la cimentación.

El peso propio de la luminaria es de 70N y el del panel solar es 165N ; la carga por impacto de vehículo se supondrá de 50kN (se situará a $1,3$ metros de altura). Aplicando el correspondiente FS obtenemos las cargas siguientes:

	Carga	FS	Carga mayorada
Pp_panel	165N	1,35	222,75N
Pp_luminaria	70N	1,35	94,5N
F_v	351,87N	2,5	879,68N
Impacto de vehículos	50kN	1	50kN

Tabla 61. Cargas aplicadas para el estudio de resistencia y deformación

Las dos imágenes que siguen a continuación muestran la representación que aparece en programa de cálculo de las cargas aplicadas en la estructura de la farola autosuficiente, dichas cargas están simbolizadas mediante flechas sin una escala real y situadas en zonas arbitrarias de la superficie donde realmente se aplica la fuerza. En la primera imagen se puede apreciar la carga por impacto de vehículos que se encuentra situada en la parte superior del pie de la farola y la carga que se aplica en el soporte del panel solar (que incluye la fuerza del viento y el peso de la placa), dicha carga se muestra más claramente en la imagen de la derecha donde se puede observar que las flechas están dibujadas en los contornos, aunque realmente la fuerza es aplicada en la totalidad del plano. El peso propio de la luminaria no se ha considerado como fuerza externa, pues considerando que la pieza de la luminaria fuese del mismo material que el resto de la estructura la tensión es mayor, por lo tanto se ha tomado esa consideración al ser un valor más restrictivo.

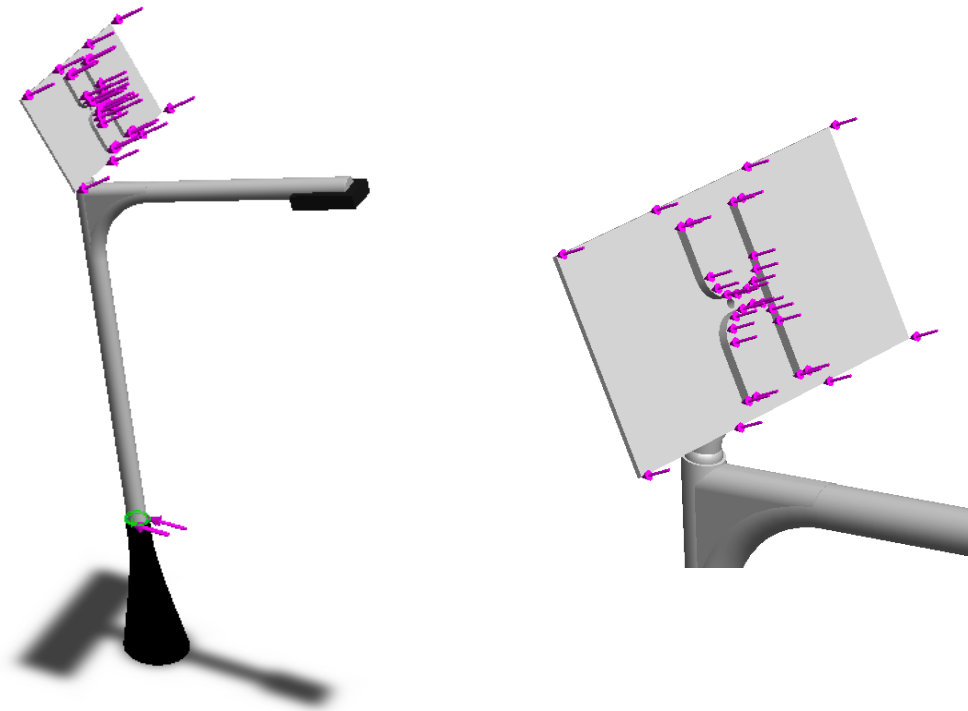


Figura 106. Simplificación de la aplicación de cargas para el estudio

RESULTADOS OBTENIDOS

En las siguientes imágenes se muestran el valor máximo y mínimo de la tensión a la que está sometida la farola aplicando las cargas mencionadas anteriormente, con un factor de seguridad superior a 4.

El punto de máxima tensión se encuentra en el cambio de sección situado en la unión entre el pie de la farola y la barra vertical. También hay otro concentrador de tensiones, aunque de menor valor, en la unión entre el soporte del panel y la parte superior de la barra vertical.

Si bien el punto de mínima tensión no es tan relevante como los valores anteriores, se puede observar que se encuentra en la zona de la luminaria, aunque también se sufren tensiones pequeñas la zona del panel, en el brazo que sustenta la luminaria y en el pie de la farola por estar ésta anclada al suelo.

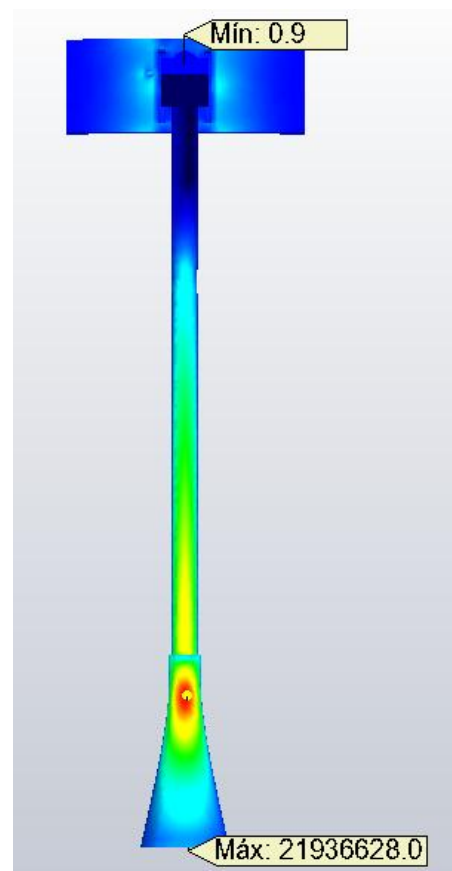
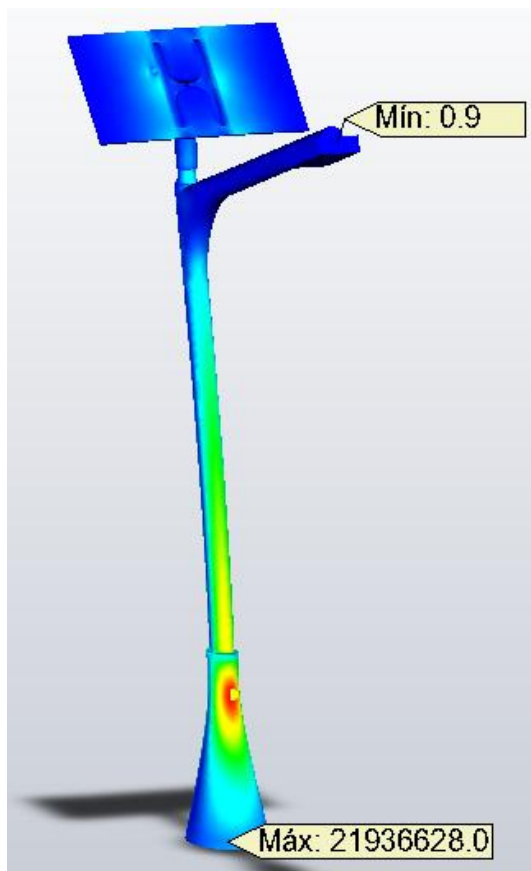
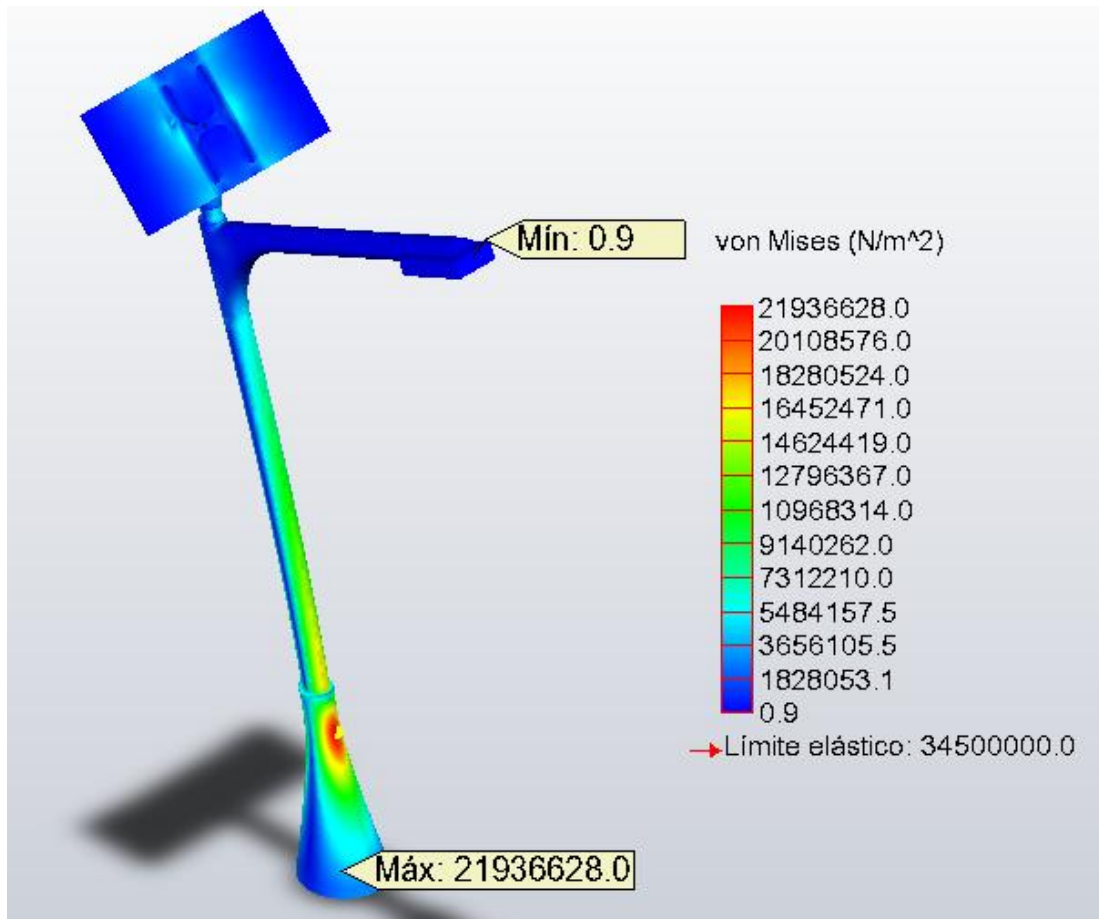


Figura 107. Vistas de los estados de tensiones que se producen en la farola con las cargas

A continuación las imágenes muestran el desplazamiento que se produce con esas mismas cargas. Se obtiene el máximo desplazamiento en los extremos del soporte de la placa y en la parte de la luminaria más alejada de la base, ese valor máximo es menor de 26mm. La farola se encuentra anclada al suelo, por lo es normal que la zona que sufrirá un mayor desplazamiento será aquella que se encuentra más alejada de él. Los valores de deformaciones mínimas se encuentran en la base, pues al encontrarse ésta cimentada en el terreno, no permite desplazamientos en el pie de la farola.

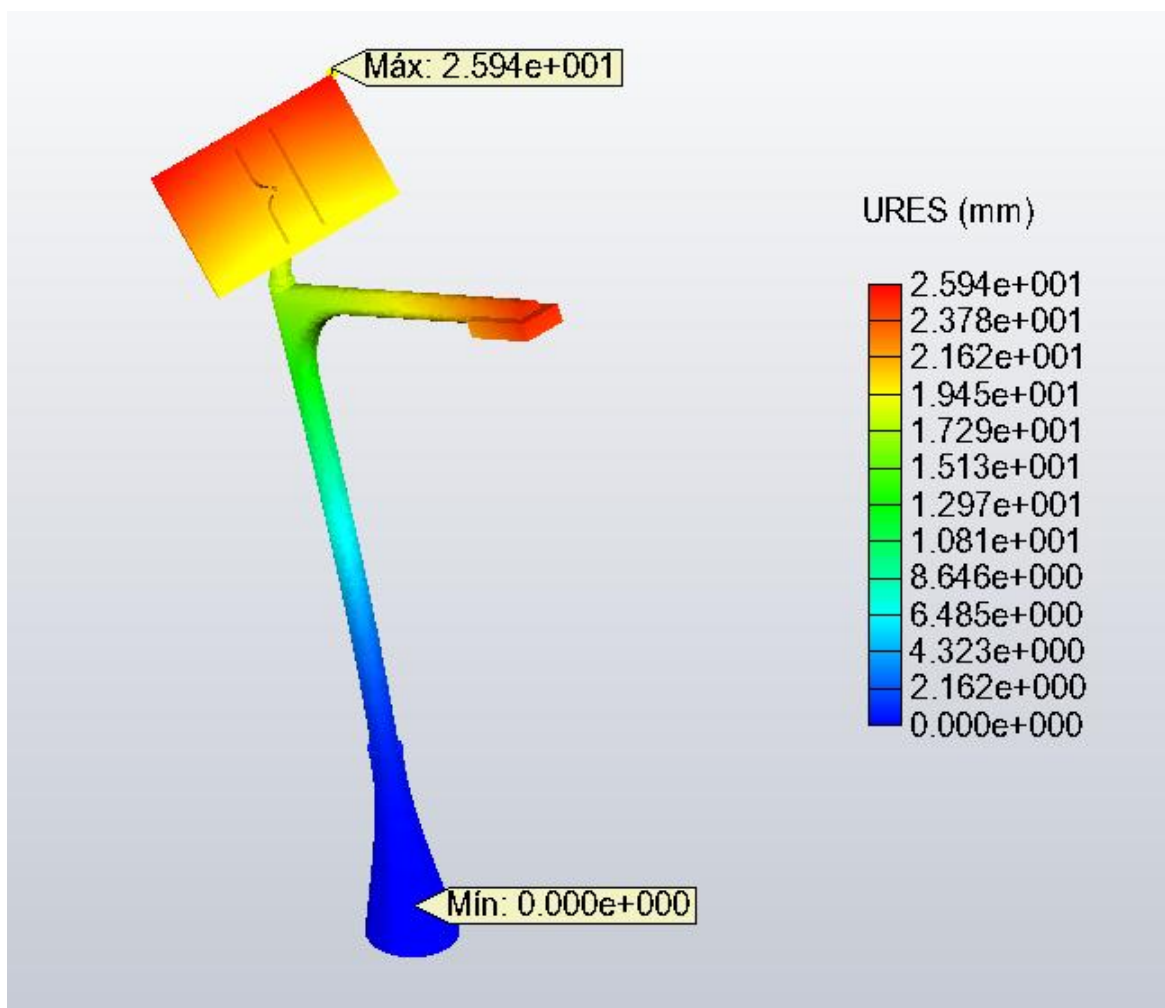


Figura 108. Vista general de los desplazamientos que se producen en la farola autosuficiente (máx y mín)

El programa de diseño SolidWorks realiza la simulación de las tensiones y los desplazamientos de la estructura mediante el método de los elementos finitos. En la imagen siguiente se muestra la malla aplicada para realizar los cálculos (malla tetraédrica).

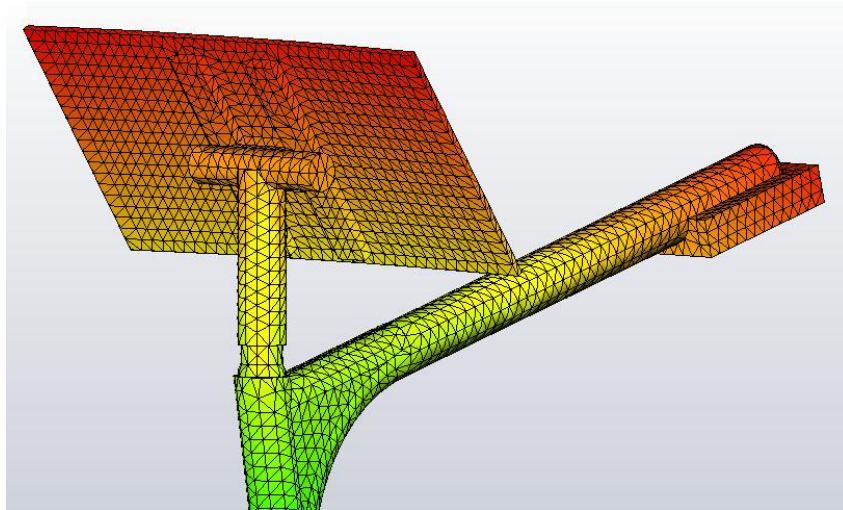


Figura 109. Vista en detalle de la malla utilizada

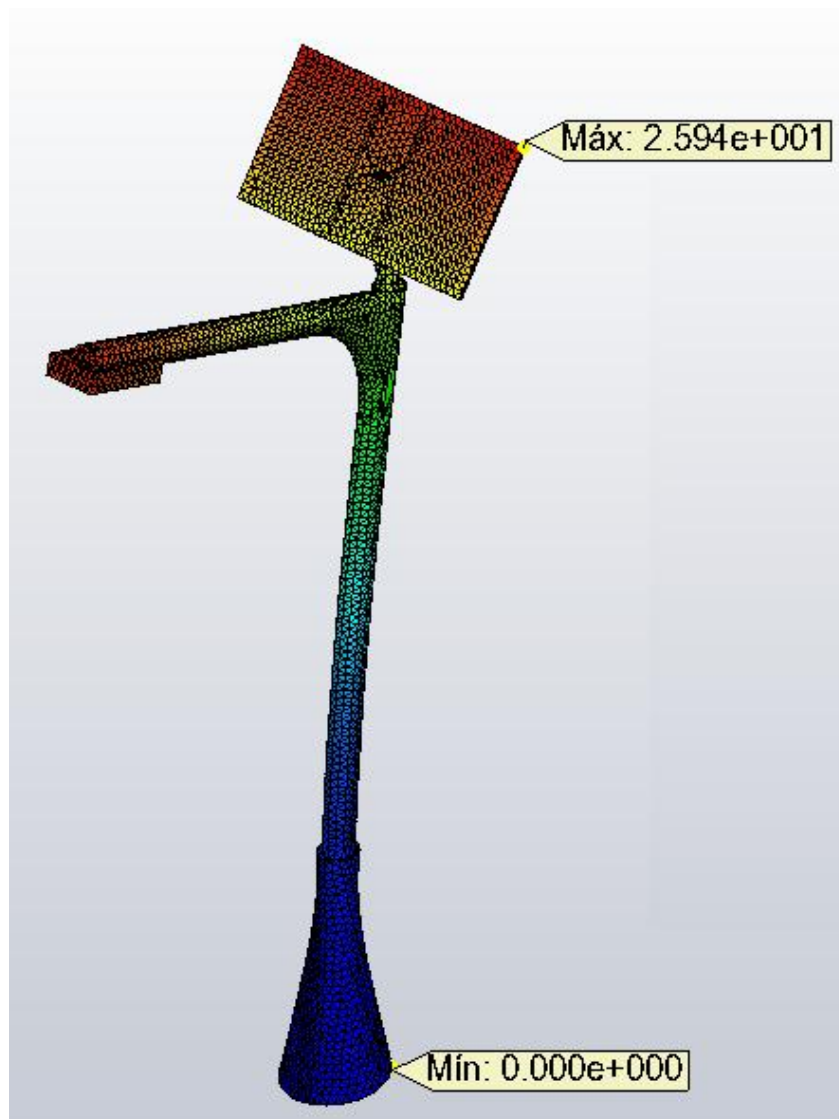


Figura 1. Vista general de la malla utilizada para el cálculo

II. SISTEMA DE CONEXIÓN MUTIPLE DE FAROLAS

Para el sistema de farolas grupal, solo se realizará el estudio de la estructura central, puesto que las farolas simples que forman el conjunto tienen las mismas dimensiones (diámetro, espesor, altura y longitud del brazo) pero sin soportar la carga del panel solar, su carga por viento, etc. Se puede afirmar que si la farola autosuficiente resiste con esas cargas aplicadas, la farola simple que no las tiene, o son de menor valor, tendrá menores tensiones y deformaciones, y por tanto resistirá del mismo modo.

Para realizar el estudio de la resistencia mecánica y de la deformación de la pieza central del conjunto de farolas, se partirá nuevamente del diseño realizado con el programa SolidWorks.

MATERIAL

La estructura central del conjunto está realizada también con PRFV. Se recuerdan las propiedades mecánicas de este puesto que son los datos de entrada necesarios para el cálculo.

E [MPa]	15000
G [MPa]	6340
ν	0.183
ρ [kg/cm ³]	0.00165

TABLA 62. Propiedades del PRFV

CARGAS APLICADAS

Las cargas a las que está sometida la estructura central de la rotonda se calcularán según lo especificado en el correspondiente Eurocódigo. Para el cálculo se considerará:

El peso propio de la estructura (el programa lo calcula mediante la densidad del material y el volumen), la carga de viento, el peso propio de los paneles y la carga producida por el impacto de un vehículo.

En este caso, se tomará también como fuerza del viento ($F_v = 351,87\text{N}$) la máxima que soporta la cimentación de la farola pues se cree es suficiente para España, en zonas despejadas como una rotonda.

El peso propio del panel solar es 744N ; La carga por impacto de vehículo se supondrá de 50kN . Aplicando el correspondiente FS obtenemos las siguientes cargas debidamente mayoradas:

	Carga	FS	Carga mayorada
Pp_panel	744N	1,35	1004,4N
F_v	351,87N	2,5	879,68N
Impacto de vehículos	50kN	1	50kN

TABLA 63. Cargas para el estudio de deformación y resistencia

En este caso las fuerzas aplicadas son representadas como se observa en la figura 111.

Las flechas de la parte inferior (situadas en la segunda pieza de la estructura) representan la carga por impacto de vehículo. Las flechas verticales de la parte superior son la carga que recibe la estructura debida al peso de los paneles mientras que las que se encuentran perpendiculares a la superficie de la pieza superior corresponden a la fuerza del viento. De nuevo el programa de cálculo no utiliza escalas para las flechas y las sitúa solo en los contornos de las superficies donde realmente se aplican.

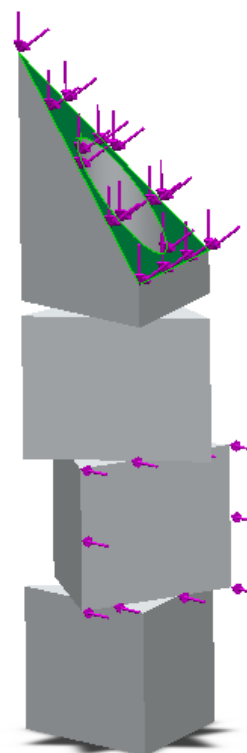


Figura 111. Simplificación cargas aplicadas

RESULTADOS OBTENIDOS

En las siguientes imágenes se muestran el valor máximo y mínimo de la tensión a la que está sometida la farola aplicando las cargas mencionadas anteriormente, se obtiene que el límite es 22 veces superior a los valores obtenidos. La tensión máxima se encontrará en los puntos con aristas vivas más solicitados, en este caso se encuentra en la parte inferior de la estructura, en una de las esquinas de la pieza base

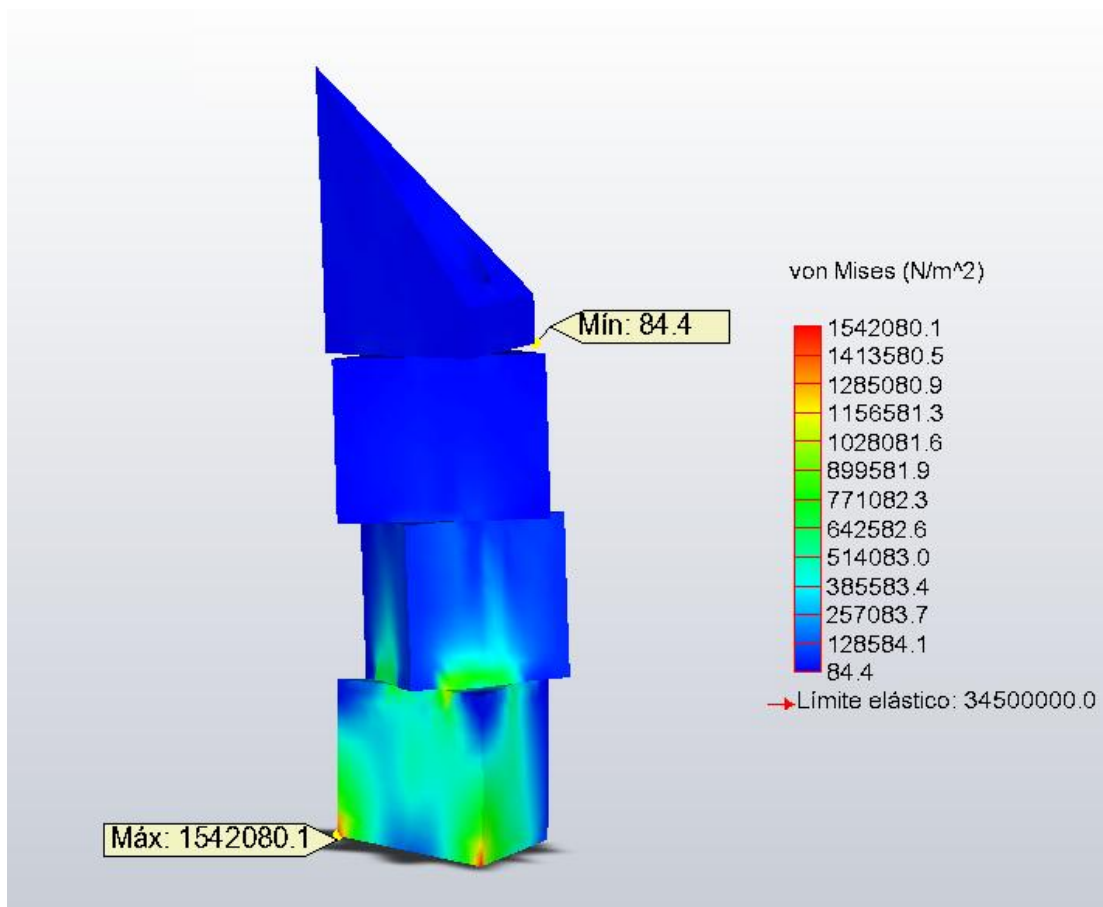


Figura 112. Vista general de las tensiones de la estructura central del conjunto de farolas

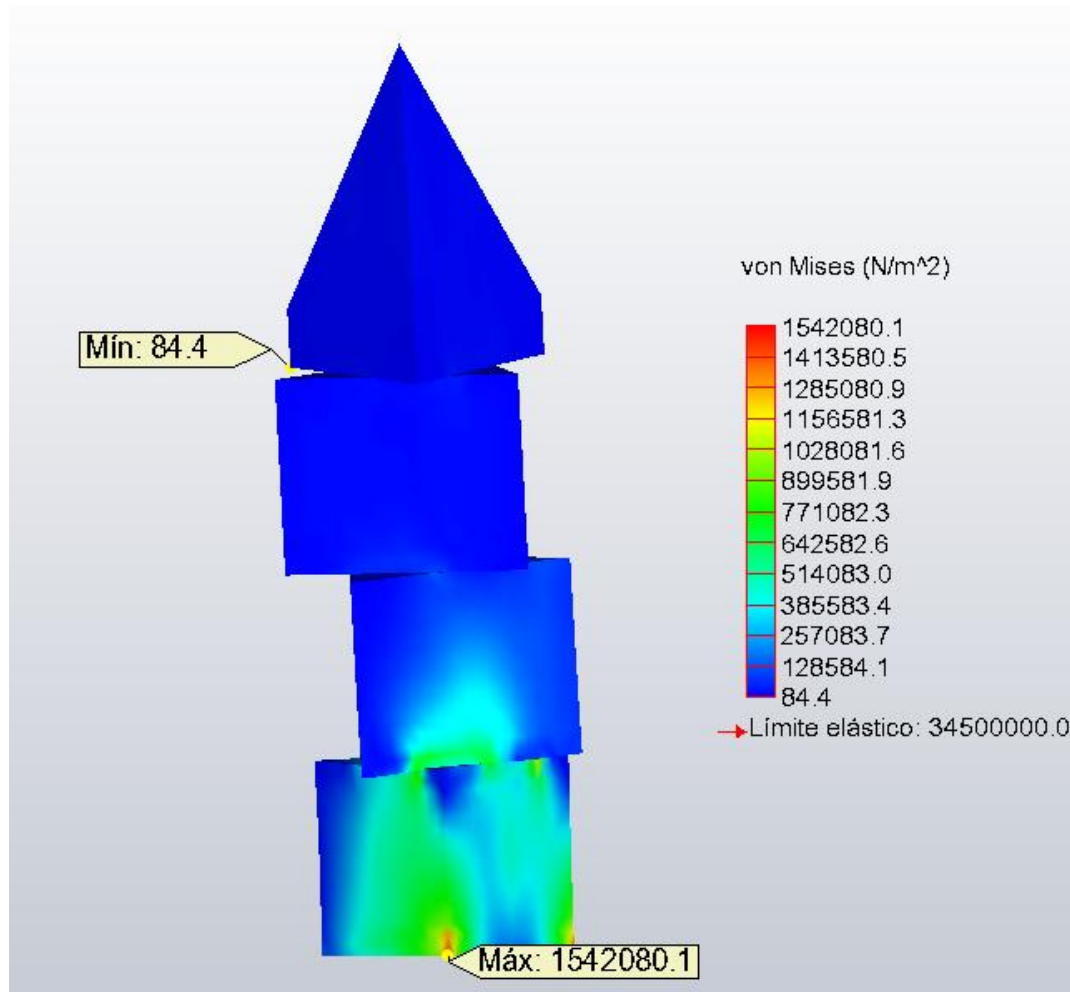


Figura 113. Vista posterior de las tensiones de la estructura central del conjunto de farolas

Partiendo del supuesto que la estructura central se encuentra fijada en el terreno, mediante su correspondiente cimentación, se determina que el desplazamiento máximo se encuentra en el punto más alejado del suelo, pues en la parte superior es donde existe un mayor momento de las fuerzas, y en el contacto con el terreno se encuentra el valor del desplazamiento mínimo, pues en ese punto el momento es nulo.

Los puntos de desplazamiento máximo y mínimo se muestran en la imagen siguiente, dónde se observa que ese máximo que sufre la estructura ese produce en el vértice de la pieza superior y tiene un valor de alrededor de 0,11mm.

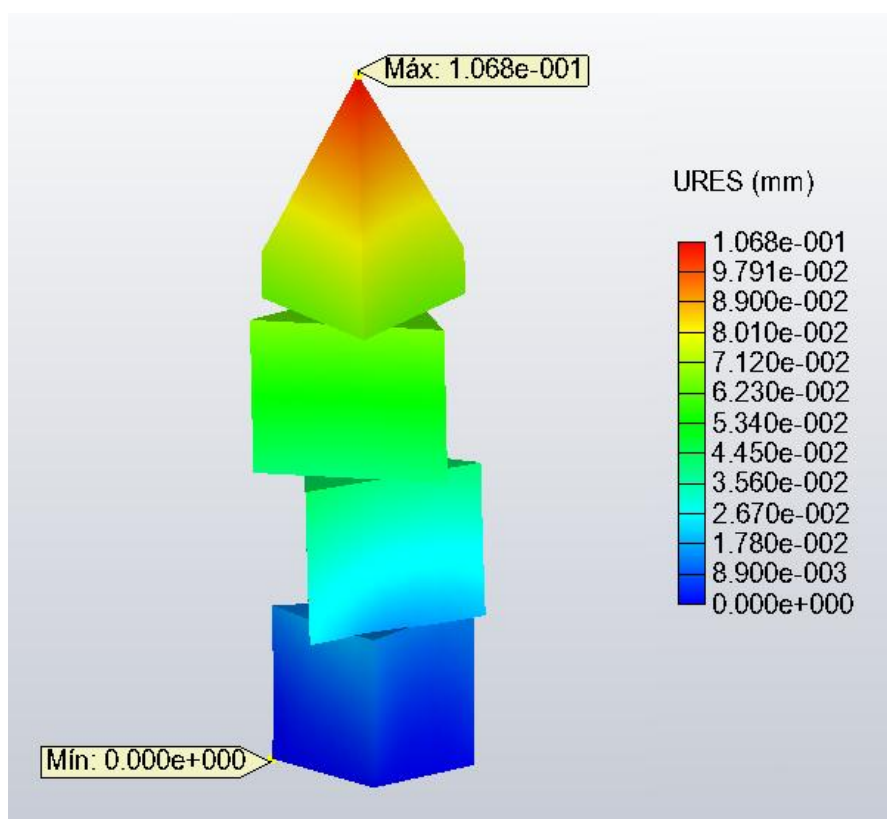


Figura 114. Vista general de los desplazamientos de la estructura central del conjunto de farola

En esta imagen además del desplazamiento está representada la malla de elementos finitos utilizada para el cálculo de la tensión y del desplazamiento de la estructura.

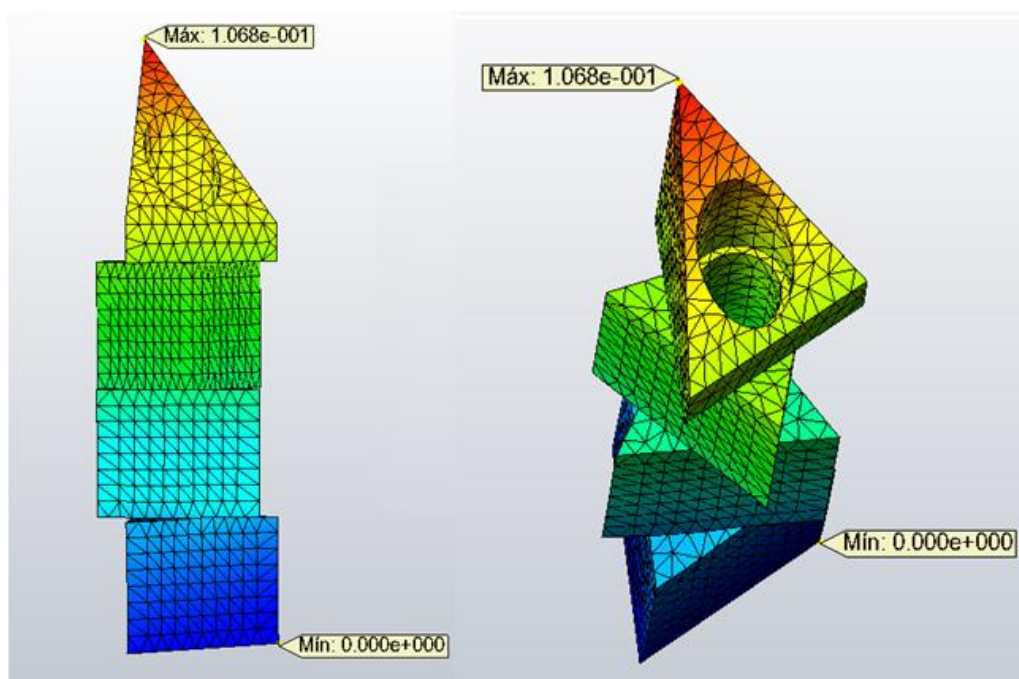


Figura 115. Vista frontal y detalle de la malla utilizada para el cálculo de los desplazamientos

3.2.5 Normativa aplicada

Todos los diseños realizados cumplen con las siguientes normativas y directrices:

- ✓ Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010.
- ✓ Recomendaciones de alumbrado público del M.O.P.T
- ✓ El Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la “Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)” tiene por objeto regular el proyecto, ejecución y control de las estructuras de hormigón, tanto en obras de edificación como de ingeniería civil.
- ✓ El Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07

Normas UNE	
UNE-EN 13201-2:2004	Iluminación en carreteras. Parte 2. requisitos de prestaciones
UNE-EN 13201-4:2005	Iluminación de carreteras. Parte 4: Métodos de medida de las prestaciones de iluminación.
UNE-EN 60923:2006/A1:2006.	Aparatos auxiliares para lámparas. Balastos para lámparas de descarga (excepto lámparas fluorescentes tubulares).
UNE-EN 60598-2-3:2003	Luminarias. Parte 2: Requisitos particulares. Sección 3: Luminarias para alumbrado público
UNE-EN 40-5:2003	Columnas y báculos de alumbrado. Parte 5: Requisitos para las columnas y báculos de alumbrado de acero.

UNE-EN 40-2:2006	Columnas y báculos de alumbrado. Parte 2: Requisitos generales y dimensiones.
UNE EN 61215:1997	Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación tipo

Tabla 64. Relación de normas UNE

También cumple con el reglamento de eficiencia energética en instalaciones de Alumbrado exterior donde obtenemos valores como los de eficiencia energética o los niveles de iluminación, y con las instrucciones técnicas complementarias siguientes:

ITC-EA (REEA)	
ITC-EA 01	Eficiencia energética
ITC-EA 02	Niveles de iluminación
ITC-EA 04	Componentes de las instalaciones
ITC-EA 07	Mediciones luminotécnicas en las instalaciones de alumbrado

Tabla 65. Relación de ITC-EA

ITC-BT Aprobado por el Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto.	
ITC-BT 09	Instalaciones de Alumbrado Exterior (REBT)
ITC-BT 04	Documentación y puesta en servicio de las instalaciones (REBT)

Tabla 66. Relación de ITC-BT

Además de las anteriores instrucciones técnicas las farolas cumplen con las especificaciones que se encuentran en los siguientes Eurocódigos:

Eurocódigos	
Eurocódigo 0	Bases de cálculo de estructuras
Eurocódigo 1	Acciones en estructuras

Tabla 67. Relación de Eurocódigos

3.3. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL

En este apartado se pretende hacer hincapié en los beneficios extra que comporta el uso de estas farolas y promover la abolición del uso de las antiguas, las cuales consumen energía de la red como fuente principal. Para ello se presenta un estudio de ahorro energético y emisiones de GEI, junto con otros aspectos relacionados con el tema.

Antes de empezar con este estudio, se ha de tener presente que la iluminación de la vía pública es un consumidor importante de energía de la red de un país, por lo que supone un gasto para todos nosotros. En España el año pasado el alumbrado público utilizó más de tres millones de megavatios de electricidad y en la actualidad se lleva entre el 50 y el 60% del consumo energético total de una ciudad.

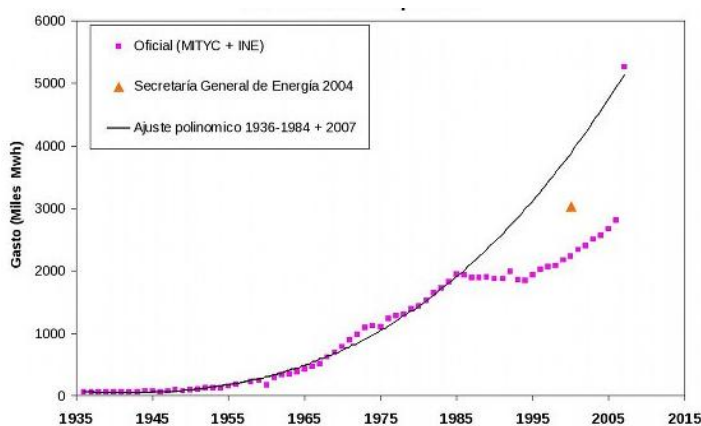


Figura 116. Evolución del gasto energético en alumbrado público (España)



Figura 117. Contaminación lumínica del cielo nocturno

Teniendo en cuenta que España está de los primeros en la cola a nivel europeo en lo que a consumo energético de alumbrado público (sino los primeros) se refiere, y que tampoco estamos muy atrás en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), uno debe preguntarse ¿Es necesario este tipo de consumo?, ¿Por qué gastar dinero y por consiguiente esfuerzo en algo que podría ser “gratuito”?, ¿Preferimos una vía pública oscura, incomoda y poco segura en zonas que realmente es importante la visibilidad nocturna?, ¿nos podemos permitir seguir generando gases de efecto invernadero (GEI) sin ser realmente necesario? Y así un largo etcétera.

A lo largo del proyecto se ha intentado justificar que todas las decisiones tomadas se han encaminado para conseguir una buena eficiencia en estos diseños y un consumo reducido con el objetivo de mejorar (aparte de la seguridad vial) el gasto público en energía.

3.3.1 Aspectos relevantes a tener presentes

Nuestras farolas tienen unos claros beneficios que las conectadas a red no presentan, son los siguientes principalmente:

1. Reducción de las emisiones de GEI debido a la NO necesidad de producción eléctrica no renovable.
2. Uso de materiales reciclables en su mayoría (el precio de las baterías incluye el canon de reciclaje de estas).
3. Disminución de la contaminación lumínica nocturna gracias a la direccionalidad de la luz emitida por los LED.
4. Reducido impacto visual por su estética esbelta y la posibilidad de camuflaje arquitectónico con el sistema de conexión múltiple.
5. La necesidad de obras es mínima para poner en funcionamiento estas farolas, no necesitan zanja, ni línea eléctrica cercana (3000-6000 euros/km).

3.3.2 Estudio energético

En este apartado, se pretende obtener los datos del gasto energético que supone tener una farola de alumbrado público conectada a la red durante 20 años, que es aproximadamente la durabilidad de nuestros equipos propuestos. No se consideran los gastos en reparaciones y mantenimiento de las instalaciones, pues el valor relevante es el gasto energético.

Las lámparas de alumbrado público suelen ser de Vapor de Sodio a Alta Presión (VSAP) o de Vapor de Mercurio (VM) por lo que se estudiarán los dos casos. Se tendrán en cuenta las siguientes premisas:

- 4.400 horas de funcionamiento al año de un alumbrado público (Promedio europeo)
- 14% consumo extra por sobre tensión (una tensión media durante la noche del 6%, provoca un incremento del consumo del 14%)
- 0,15 €/kw coste estimado de la tarifa eléctrica
- 20 años de iluminación
- Las lámparas VSAP necesitan un equipo electrónico adicional para su funcionamiento. Tienen la ventaja que regula las sobretensiones nocturnas y nos ahorramos los extra costes por subidas de tensión.
- Análisis de una única farola de cada tipo.

Tipo de Lámpara utilizada en el alumbrado	VM 250W	VSAP 150W
Potencia consumida total de la luminaria (W) (incluye pérdidas por el balastro)	266	170
Consumo extra por sobretensión (W) (+14%)	303	170
Total Consumo (W)	303	170
Total Consumo anual(KWh) (4400h/año)	1.333,2	748
Total Consumo 20 años (KWh)	26.664	14.960
Coste por consumo (€) en 20 AÑOS	4.000	2.244

Tabla 68. Resumen de los costes energéticos de las farolas actuales

Visto el consumo en energía eléctrica llega el momento de calcular las emisiones de CO₂ asociadas a este consumo, es decir a la generación eléctrica si consideramos que no hay que crear ningún tipo de infraestructura extra para llevar la corriente a la zona:

Tipo de Lámpara utilizada en el alumbrado	VM 250W	VSAP 150W
Total Consumo Energía Eléctrica anual (KWh)	1.333,2	748
MIX Español	3	3
Total Consumo Energía Primaria anual (KWh)	4.000	2250
Emisiones de GEI ($\approx 0,7 \text{ KgGEI/KWh}_{\text{primario}}$) ANUALES	280 Kg	155 Kg

Tabla 69. Resumen de las emisiones de GEI de las farolas actuales

Las emisiones calculadas son una aproximación teniendo en cuenta el actual porcentaje de las fuentes primarias de generación de energía en España.

Observando los valores obtenidos parece razonable considerar la idea de utilizar un alumbrado público más eficiente y menos contaminante pues hay que remarcar que estos valores son sólo para UNA farola de VSAP o VM y en España hay más de una farola.

NOTA: Este estudio se puede complementar con algunos datos que se encuentran en el documento de presupuestos para ver un análisis de un caso real.

3.3.3 Alternativas

En el caso que la aplicación de estas farolas no sea posible ya sea por causas económicas o de otra naturaleza, se ofrecen algunas alternativas a los clientes con el objetivo de que reduzcan su consumo energético en alumbrado público. Considerando que en la zona que se quiere mejorar la iluminación y/o el sistema de iluminación ya hay farolas instaladas (de las actuales), se propone:

- A. Substitución de la luminaria de VSAP, VM... por la diseñada en este proyecto de LEDs de alta eficiencia (sería necesario determinar la electrónica necesaria que se ha de implantar en esta para poder trabajar conectada a la red con los LEDs lo que podría ser una pequeña ampliación del proyecto).

- B. Utilizar un sistema de alimentación mixto, es decir dimensionar las baterías para (por ejemplo) un día de autonomía (reducción coste en baterías) y en caso que la batería no se haya podido recargar al 100% durante las horas de sol utilizar electricidad de la red para ello. En este caso se reduce el coste en energía de la red aunque no es nulo en los días que las baterías no estén al 100%.